



Micaela Sofia Vasconcelos Pereira

Licenciada em Engenharia de Materiais

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos óticos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Materiais

Orientador Interno: Professora Doutora Elvira Fortunato,
Professora Catedrática, Faculdade de Ciências e Tecnologias
da Universidade Nova de Lisboa

Orientador Externo: Engenheira Carla Matos,
Responsável do setor Engenharia de Processos, Essilor
Portugal

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rui Jorge Cordeiro Silva
Vogal(ais): Prof. Doutor Hugo Manuel Brito Águas
Engenheira Carla Cristina Sousa de Matos



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Setembro 2015

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Copyright © Micaela Sofia Vasconcelos Pereira, 2015

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha Orientadora/Chefia Carla Matos por me ter dado a oportunidade de realizar este trabalho na Essilor Portugal, como todo o apoio e tempo disponibilizado para me ensinar.

Queria agradecer à minha orientadora, Professora Elvira Fortunato por toda a ajuda e orientação durante a realização de todo o trabalho.

À Engenheira Ana Paula Duarte, por toda a ajuda, disponibilidade e confiança para a realização dos meus testes no IST. Ao Prof Albano Cavaleiro, ao Sérgio e ao João pela paciência e receção no instituto Pedro Nunes. À Daniela e ao Professor João Pedro Veiga por toda a ajuda na análise das minhas amostras no CENIMAT.

Aos meus colegas e amigos da Essilor Portugal um grande obrigada, sem a sua ajuda nada disto teria sido possível: Carla Duarte, Vitor Belchior, Carlos Lopes, Luís Paixão, Cláudia Baptista, João Borrego, David, Luís Carvalho, Ricardo Machado, Nelson, Susana Claudino, Anabela Saraiva, Helena Melo, Isabel Martinho e João Melo.

Agradeço também a forma como sempre fui tratada pelos colaboradores, chefias e diretores na Essilor Portugal.

Sem dúvidas os meus pilares, aos meus pais, pelo amor, paciência e dedicação. Por acreditarem em mim e por me motivarem a querer ser sempre mais e melhor. Amo-vos.

Agradecer a toda a minha família pelo apoio e motivação, em especial à minha irmã Inês, ao meu padrinho Henrique e à minha avó Teresa.

Queria também agradecer aos meus amigos e companheiros nesta jornada: Catarina Marques, Anselmo Gomes, Marisa Ferreira, Mariana Oliveira, Fernando Ferreira. Assim como, às minhas amigas de sempre Cláudia Ferrão, Joana Ricardo e Rita Carreira.

Nesta vida tive o privilégio de me cruzar com pessoas especiais, tornando-me a mulher e pessoa que sou hoje. Um obrigado especial à Patrícia Braga e Rita Alves.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Resumo

Este trabalho tem como objetivo otimizar o processo de limpeza dos componentes que constituem a câmara de vácuo usada para aplicar revestimentos óticos, focando-se na caracterização do processo e materiais envolvidos, assim como a análise de um processo de limpeza alternativo ao existente. Este será desenvolvido na Essilor Portugal com o apoio do centro de investigação Cenimat, os laboratórios do Instituto superior Técnico e Instituto Pedro Nunes.

O anti-reflexo em lentes oftálmicas é formado através da deposição de óxidos metálicos que são evaporados através da técnica de evaporação assistida por canhão de eletrões. Contudo, ao longo do processo este material evaporado acaba por se depositar também nas chapas que revestem a câmara de vácuo. Estas necessitam de ser limpas para garantir a qualidade do produto final. Sendo o processo de limpeza adotado pela Essilor Portugal, a limpeza através de jato de água e areia, proporcionando desta forma a remoção por impacto dos óxidos metálicos.

No decorrer deste trabalho serão utilizadas várias técnicas de caracterização, tais como a análise granulométrica e fluorescência de raio-x (FRX) para a areia utilizada no processo de limpeza e a análise por microscopia eletrónica de varrimento (SEM), comparador e microscopia de foco infinito para as amostras de chapas de aço inox (replicas das chapas originais que revestem a câmara de vácuo).

Este trabalho tem como perspectivas futuras o estudo e desenvolvimento de um processo alternativo ao existente, tais como a colocação de um bloco de folhas de papel de fácil remoção a revestir cada chapa. Este trabalho foca-se também na optimização da zona/área de trabalho usando Ferramentas LEAN, tais como, SMED (Single Minute Exchange of Die), KANBAN, 5S's, Diagrama Spaguetti, mapa SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) e Desperdícios LEAN. Estas perspectivas têm como objetivo o aumento da produtividade, organização/standardização do fluxo de trabalho e disponibilidade da máquina, tal como, a diminuição dos desperdícios, custos e setup.

Palavras-Chave: Processo limpeza; Limpeza por jato de água e areia; Revestimentos óticos; óxidos metálicos; Chapa aço inox; Ferramentas LEAN.

**Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de
Revestimentos Óticos**

Abstract

This study aims to optimize the cleaning process of the components which constitute the vacuum chamber used for applying optical coatings focused on the characterization of the process and materials involved, as well as analysis of the existing alternative cleaning process. This will be developed in Essilor Portugal with the support of central Cenimat research, laboratories of the Instituto Superior Técnico and Instituto Pedro Nunes.

The anti-reflection in ophthalmic lenses is formed by depositing metal oxides are evaporated by the evaporation technique assisted by the electron gun. However, during this process the evaporated material ends by also depositing the plates lining the vacuum chamber. These need to be cleaned to ensure the quality of the final product. As the cleaning process adopted by Essilor Portugal, cleaning using water and sand jet, thereby providing for the removal of metal oxides impact.

In the course of this study will be used various characterization techniques, such as sieve analysis and x-ray fluorescence (XRF) for the sand used in the cleaning process and analysis by scanning electron microscopy (SEM) comparison microscopy and focus Endless for samples of stainless steel sheet (replicas of the original plates lining the vacuum chamber).

This work has as future prospects the study and development of an alternative to the existing process, such as the placement of a block of easily removable sheets of paper to coat each plate. This work focuses also on optimizing the area / work area using tools LEAN such as SMED (Single Minute Exchange of Die), KANBAN, 5S's, Spaguetti Diagram SIPOC map (Supplier, Input, Process, Output, Costumer) Waste and LEAN. These prospects are intended to increase productivity, organization / standardization of workflow and machine availability, such as the reduction of waste, costs and setup.

Keywords: cleaning process; Cleaning by water jet and sand; Optical coatings; metal oxides; Stainless steel plate; LEAN tools.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Abreviaturas e Símbolos

U	Tensão Elétrica
R	Resistência Elétrica
I	Corrente Elétrica
FRX	Fluorescência de Raio-x
SEM	Microscopia eletrónica de varrimento
EDS	Eletroscopia de raio-x por difração de energia
IFM	Microscopia de foco infinito
TSV	Tratamento sob vácuo
SUPRA	Zona de aplicação de verniz na lente
SiO ₂	Quartzo
ZrO ₂	Óxido de Zircónio
Sableuse	Máquina de limpeza por jato de água e areia
VSM	Mapeamento de fluxo de valor
TPM	Manutenção Produtiva Total
SMED	Single Minute Exchange of Die
Mapa SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Cosumer
CENIMAT	Centro de investigação de materiais
IST	Instituto Superior Técnico
IPN – Incubadora	Instituto Pedro Nunes
Si	Silicio
Cr	Crómio
Zr	Zircónio
Sn	Estanho
Satis	Máquinas usada para fazer revestimento óticos (anti-reflexo) na Essilor Portugal

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract	IX
Abreviaturas e Símbolos	XI
Índice	XIII
Índice de Figuras	XV
Índice de Tabelas	XVIII
Objetivos	1
Capítulo 1 - Introdução	3
1.1. Essilor Portugal	3
1.2. Tratamentos Sob Vácuo (T.S.V)	3
1.3. Jato de areia	4
1.4. Riscos para o Processo de Evaporação de uma Limpeza Deficiente	5
1.5. Ferramentas <i>LEAN</i>	7
Capítulo 2 - Material e Métodos	9
2.1. Produção de amostras	9
2.2. Técnicas de análise	11
Capítulo 3 - Resultados e Discussão	13
3.1. Análise de amostras de aço inox	13
3.1.1. Microscópio Foco Infinito (IFM)	13
3.1.2. Medidor de espessuras (Método mecânico)	14
3.1.3. Microscópio eletrónico de varrimento (SEM)	15
3.1.4. EDS	19
3.2. Amostras de areia	20
3.2.1. Fluorescência de raio-x (FRX)	20
3.2.2. Peneiração	21
3.3. Otimização da zona de trabalho/ Ferramentas <i>Lean</i>	22
3.3.1. Mapa SIPOC	22
3.3.2. Diagrama Spaguetti	22
3.3.3. <i>SMED</i> (Single Minute Exchange of Die)	23
3.3.4. KANBAN	23
3.3.5. 5'S	24
3.4. Otimização do equipamento (<i>Sableuse</i>)	27
3.5. Método Alternativo	31
Capítulo 4 - Conclusão e Perspectivas Futuras	35
Capítulo 5 - Referências	37
Capítulo 6 - Anexos	39

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Índice de Figuras

Figura 1.2 - Fluxograma das etapas por que passam as lentes em produção	3
Figura 1.1 - Instalações Essilor Portugal em Rio de Mouro	3
Figura 1.3 - Esquema de evaporação utilizado no tratamento sob vácuo da Essilor [3].....	4
Figura 1.4 - Câmara utilizada para aplicação do anti-reflexo. a) Interior da câmara; b) Porta da câmara ..	4
Figura 1.5 - Máquina de jato de água e areia <i>Sableuse</i>	5
Figura 1.6 - Óxidos depositados. a) Interior da câmara de vácuo usada na Essilor Portugal; b) Detalhe de uma zona da câmara de vácuo com resíduos de produtos evaporados (óxidos)	5
Figura 1.7 - Absorção e adsorção de moléculas de água nas chapas de Aço Inoxidável [4]	6
Figura 1.8 - Chapas de aço inox com moléculas de água entre o material evaporado [4]	6
Figura 1.9 - Os sete desperdícios <i>LEAN</i> [6].....	7
Figura 2.1 - Amostras de chapas aço inoxidável 304.....	9
Figura 2.3 - Amostras de chapas aço inox 304. a) Chapas com 1,5 mm de espessura; b) Chapas com 0,7 mm de espessura.	9
Figura 2.2 - Amostras de areia. a) Areia nova; b) Areia reutilizada	9
Figura 2.4 - Interior da câmara Satis	10
Figura 2.5 - Zona de recolha da pasta na máquina <i>Sableuse</i>	10
Figura 2.6 - Amostras de pasta. a) Pasta acabada de recolher; b) Pasta depois de seca	11
Figura 2.7 - Determinação de espessuras de filmes. a) Comparador; b) Microscópio de Foco Infinito	12
Figura 3.1 - Imagem através de microscópio Foco Infinito de uma chapa sem limpeza com 2 evaporações	13
Figura 3.2 - Método mecânico. a) Zona de colocação da amostra; b) Zona de resultados da espessura	14
Figura 3.3 - Imagens SEM de chapa aço inox Virgens com ampliação de 20.000x. a) Chapas com 0,7mm de espessura; b) Chapa com 1,5 mm de espessura;	15
Figura 3.4 - Chapa real utilizada em produção	15
Figura 3.5 - Imagens SEM de chapa de aço inox com 2 evaporações e ampliação de 20.000x. a) Chapa com 0,7 mm de espessura; b) Chapa com 1,5mm de espessura;	15
Figura 3.6 - Chapa real utilizada em produção	16
Figura 3.7 - Imagens SEM de chapas de aço inox com 130 evaporações e ampliação de 20.000x. a) Chapa com 0,7mm de espessura; b) Chapa com 1,5 mm de espessura;	16
Figura 3.8 - Chapa real utilizada em produção	16
Figura 3.9 - Imagens SEM de chapas aço inox limpas com jato de água e areia depois de sofrerem 2 evaporações e ampliação de 20.000x.....	17
Figura 3.10 - Chapa Real limpa que sofreu anteriormente 2 evaporações, utilizada na Essilor Portugal ..	17
Figura 3.11 - Imagens SEM de chapas aço inox limpas com jato de água e areia depois de sofrerem 130 evaporações e ampliação de 20.000x.....	18
Figura 3.12 - Chapa Real limpa que sofreu anteriormente 130 evaporações, utilizada na Essilor Portugal	18
Figura 3.13 - Imagens por SEM . a) Chapa Virgem; b) Chapa de 0,7 mm de espessura com 2 Evaporações c) Chapa de 0,7mm de espessura com 130 Evaporações.....	19
Figura 3.14 - a) Óxidos; b) resíduos de queima de produtos em peneiro de 125 µm	21
Figura 3.15 - Mapa Sipoc	22
Figura 3.16 - Diagrama Spaguetti para o setor <i>Sableuse</i> . a) Antes da mudança de Layout; b) depois da mudança de Layout.....	22
Figura 3.17 - <i>SMED</i>	23
Figura 3.18 - Cartas KANBAN utilizadas na limpeza de chapas das máquinas de vácuo.....	24
Figura 3.19 - Colocação das cartas nos carros para a colocação de chapas.....	24
Figura 3.20 - Prateleiras antes e depois da metodologia a) Espaço disponíveis insuficientes para a totalidade de chapas; b) Com espaço de acordo com o número de chapas e identificação visível das mesmas	25
Figura 3.21 - Metodologia 5's. a) Diagrama <i>As Is</i> ; b) Diagrama <i>To Be</i>	25
Figura 3.22 - Quadro da organização das prateleiras por tipo de limpeza	26
Figura 3.23 - Carros com alterações.....	26
Figura 3.24 - Novos fechos na porta da máquina <i>Sableuse</i>	27
Figura 3.25 - Escorredor	27
Figura 3.26 - Suporte para colocação de saca filtro	28
Figura 3.27 - Chapa para provocar agitação da água e areia	28
Figura 3.28 - Escolha da melhor saca. a) Sacas de Polipropileno de 25 µm; b) Sacas de nylon de 50 µm.....	28

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Figura 3.29 - Peneiro para retenção de óxidos	29
Figura 3.30 - Borracha da porta da Sableuse	29
Figura 3.31 - Mangueira de jato água e areia	29
Figura 3.32 - Chapas de apoio à limpeza das máquinas	30
Figura 3.33 - Acrílico das luzes da máquina	30
Figura 3.34 - Papeis estudados. a) Poliamida; b) PVC; c)Papel acetato; d) Papel Fotografia; e) Papel Para convites; f) Papel utilizado no setor da coloração da Essilor Portugal; g) Folha de papel alumínio	31
Figura 3.35 - Colocação do papel revestindo as chapas	32
Figura 3.36 - Chapa da posição 10a	32
Figura 6.1 - Imagens do interior da máquina Satis	40
Figura 6.2 - Análise por microscópio de foco finito	41
Figura 6.3 - Imagens SEM para chapas Virgens	42
Figura 6.4 - Imagens SEM para chapas com deposição de óxidos metálicos	43
Figura 6.5 - Imagens SEM de chapas limpas com areia nova	44
Figura 6.6 - Imagens SEM chapas limpas com areia reutilizada (24h de trabalho)	45
Figura 6.7 - Imagens SEM chapas limpas com areia reutilizada (48h de trabalho)	46
Figura 6.8 - Análise por EDS. a) chapa de 1,5 mm de espessura com 2 Evaporações; b) Chapa de 1,5 mm de espessura com 130 Evaporações	47

**Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de
Revestimentos Óticos**

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Espessura dos filmes finos através de método ótico	13
Tabela 3.2 - Espessura dos filmes finos através de método mecânico.....	14
Tabela 3.3 – Análise elementar das amostras de aço inox 304 virgem e com 0,7 mm de espessura que sofrem 2 e 130 evaporações (por questões de confidencialidade, os elementos são designados por letras)	19
Tabela 3.4 - Composição química dada pelo fornecedor	20
Tabela 3.5 - Análise por FRX. a) Areia Nova b) Areia usada	20
Tabela 6.1 - Plano de Limpeza das máquinas Satis.....	39
Tabela 6.2 - Análise EDS de chapas com 1,5 mm de espessura que sofrem 2 e 130 evaporações	47
Tabela 6.3 - Análise granulométrica da areia nova	48
Tabela 6.4 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 24h de trabalho	48
Tabela 6.5 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 48h de trabalho	48
Tabela 6.6 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 72h de trabalho	49
Tabela 6.7 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 96h de trabalho	49

Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 - Análise granulométrica da areia.....	21
Gráfico 3.2 - Média de tempo de vácuo durante os testes.....	33

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo a otimização do processo de limpeza dos componentes que constituem a câmara de vácuo utilizada para a evaporação do anti reflexo de lentes oftálmicas, focando-se na caracterização do processo e materiais envolvidos, assim como na reorganização do espaço/ zona de trabalho e implementação de ferramentas LEAN.

Assim, serão utilizadas técnicas de caracterização, tais como análise granulométrica (peneiração) e Fluorescência de raio-x (FRX) para as amostras de areia utilizadas no processo de limpeza, e análise por microscopia eletrónica de varrimento (SEM), Espectroscopia de raio-x por difração de energia (EDS), Microscopia de foco infinito (IFM) e medição por comparador para as amostras de aço inox 304 (réplicas das chapas que revestem as câmara de vácuo).

Este trabalho tem também como objetivo o estudo e determinação de um processo de limpeza alternativo ao existente.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Essilor Portugal

Esta dissertação foi desenvolvida na Essilor Portugal em Rio de Mouro (Figura 1.1). Esta opera no mercado português desde os anos 70, fabricando e comercializando uma vasta gama de lentes oftálmicas, várias marcas de armações de ótica e de sol, assim como equipamentos para ótica, optometria e oftalmologia, sendo líder na área a nível internacional [1].



Figura 1.1 - Instalações Essilor Portugal em Rio de Mouro

As lentes Essilor passam por várias etapas durante a sua produção de acordo com o fluxograma indicado na figura 1.2, estando esta dissertação focada principalmente no setor de tratamento sob vácuo (T.S.V) e sob orientação do setor Engenharia de Processos.

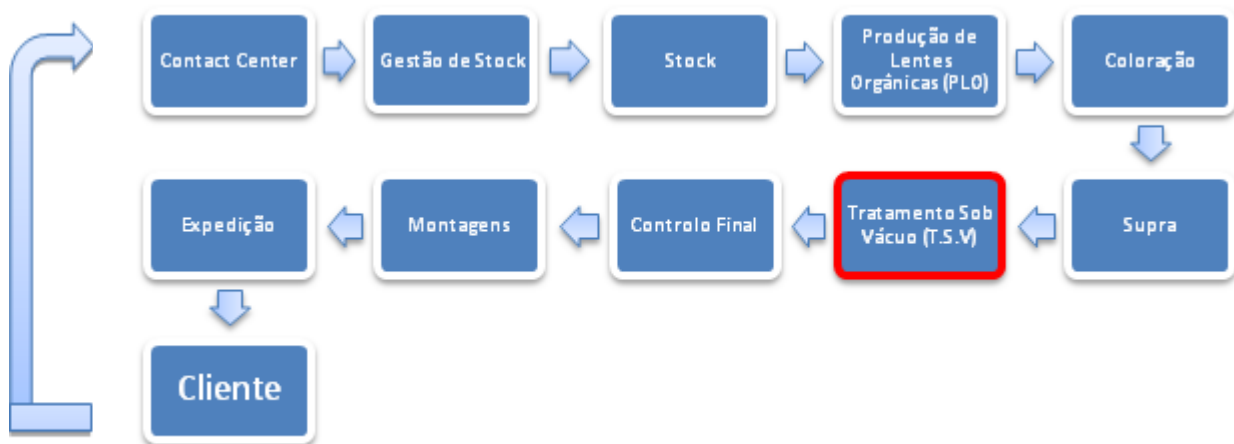


Figura 1.2 - Fluxograma das etapas por que passam as lentes em produção

1.2. Tratamentos Sob Vácuo (T.S.V)

Esta etapa do processo produtivo tem como objetivo adicionar valor acrescentado à lente já produzida, através da aplicação do tratamento anti-reflexo que vai eliminar os reflexos "parasitas" provocados pelos raios de luz refletidos pela lente, aumentando a nitidez na análise dos contrastes e o poder de transmissão da luz pela lente.

O tratamento anti-reflexo é aplicado através da evaporação térmica assistida por canhão de eletrões de óxidos, tais como quartzo (SiO_2) e zircónia (ZrO_2) [3].

A evaporação sob vácuo consiste em conduzir um material no estado sólido ao estado gasoso por aquecimento, numa atmosfera protegida. De modo a que a evaporação dos materiais ocorra, estes são colocados num cadinho e a sua fusão pode ser atingida de duas maneiras muito diferentes [3]:

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

- Aquecimento por efeito de Joule:

Este efeito é baseado na lei de Ohm $U=RI$. Um cadinho estirado feito de material refratário tântalo é preenchido com material sólido que atinge elevadas temperaturas ($\approx 200^{\circ}\text{C}$) quando é passado por uma fonte de alta corrente ($\approx 90\text{ A}$): o material funde e evapora para as lentes [3].

- Bombardeamento por canhão de eletrões:

O Canhão de eletrões emite um feixe de eletrões que é electromagneticamente focado no material a ser evaporado que se encontra colocado num cadinho refratário de molibdénio. Os eletrões são bloqueados pelo material alvo e existe libertação de energia na forma de calor (transformação de energia cinética em energia térmica), aumentando assim a temperatura do material a ser evaporado [3].

Estando representado na figura 1.3 o esquema de evaporação utilizado na Essilor Portugal.

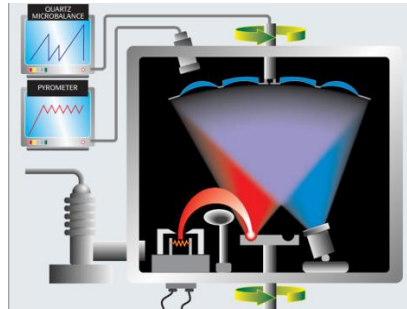


Figura 1.3 - Esquema de evaporação utilizado no tratamento sob vácuo da Essilor [3]

Ao longo do processo de evaporação, o material evaporado além de se depositar nas lentes oftálmicas, também se deposita nas chapas de aço inoxidável 304 que revestem toda a câmara de vácuo, como mostra a figura 1.4. Sendo, a otimização do processo de limpeza destas o principal objetivo desta dissertação.



Figura 1.4 – Câmara utilizada para aplicação do anti-reflexo. a)Interior da câmara; b)Porta da câmara

De forma a melhorar o desempenho da máquina assim como a qualidade das lentes produzidas, as chapas referidas devem ser retiradas e limpas de acordo com o plano pré-estabelecido pelo Essilor Portugal (em anexo).

1.3. Jato de areia

Atualmente, o processo de limpeza adotado pela Essilor Portugal é o processo de limpeza física por jato de água e areia. Contudo, este tem apresentado alguns problemas no seu desempenho, estando desta forma o trabalho de dissertação fortemente relacionado com este problema.

Este processo é abrasivo conduzindo à remoção por impacto, dos óxidos que se depositam nas chapas de aço inoxidável ao longo do processo de evaporação.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos



Figura 1.5 - Máquina de jato de água e areia *Sableuse*

A figura 1.5, apresenta a máquina onde se procede à limpeza por jato de água e areia (*Sableuse*), consistindo o processo nas seguintes etapas:

- As chapas são retiradas da câmara de vácuo para serem encaminhadas para a máquina de limpeza (*Sableuse*) que se situa numa área distinta do sector de tratamento sob vácuo;
- Uma vez colocadas dentro da máquina de limpeza são limpas com o jato de água e areia de forma a remover todos os óxidos depositados nesta;
- Recolhidas da *Sableuse* são colocadas na estufa para que sejam secas e todas as partículas de água removidas;
- Finalmente, são passadas com um pano embebido em álcool, para remover todos os grãos de areia que a chapa ainda poderá conter [4].

É importante referenciar que ao longo do processo de limpeza os resíduos formados por água, areia e óxidos são encaminhados para um filtro, que é posteriormente vazada para dentro da máquina, com o intuito do reaproveitamento da areia. Este filtro extraí o excesso de água que os resíduos contêm. Contudo, esta água não é extraída na totalidade, formando uma pasta.

Esta pasta será seca e caracterizada de forma a determinar quantas vezes esta pasta que é extraída como resíduo pode ser reaproveitada, continuando a oferecer um bom desempenho no processo de limpeza e poupando gastos desnecessários.

Contudo, se estes passos não forem bem executados surgirão riscos para o processo de evaporação, o que poderá originar problemas na qualidade do produto final bem como no desempenho do equipamento de vácuo.

1.4. Riscos para o Processo de Evaporação de uma Limpeza Deficiente

A limpeza das chapas que constituem a câmara de vácuo é bastante importante para o processo de tratamento sob vácuo, visto este evitar problemas como, resíduos de produtos evaporados instalados nas paredes desta [4].

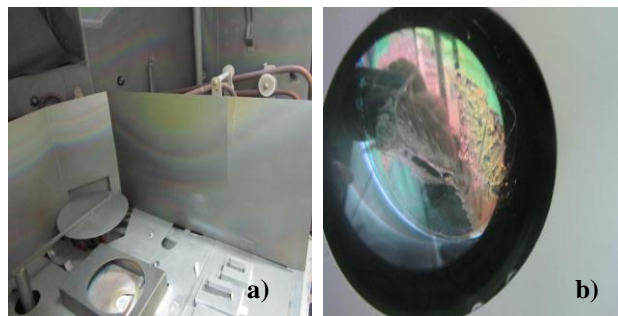


Figura 1.6 - Óxidos depositados. a) Interior da câmara de vácuo usada na Essilor Portugal; b) Detalhe de uma zona da câmara de vácuo com resíduos de produtos evaporados (óxidos)

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Através da figura 1.6, observa-se que inicialmente o que é depositado nas paredes da câmara de vácuo é uma fina camada de óxidos, semelhante a poeiras, contudo ao longo do tempo e das evaporações feitas na câmara, estas poeiras passam a uma camada espessa (na ordem dos μm) que pode levar ao seu destacamento e induzir posteriormente defeitos no processo de evaporação e consequentemente nos revestimentos das lentes [4].

Quando a camada de materiais depositados nas paredes é muito espessa surgem problemas como, fissuração desta camada de óxidos, aparecimento de grandes partículas, mobilidade das partículas que se destacam e deposição destas nas lentes. Estes problemas conduzem a defeitos na lente, como partículas de “pó”/sujeidades, provocando produto não conforme a nível cosmético [4].

Outro problema que a otimização do processo de limpeza pretende evitar é a absorção e adsorção de moléculas de água nas chapas de aço inoxidável das paredes da câmara, como mostra a figura 1.7.

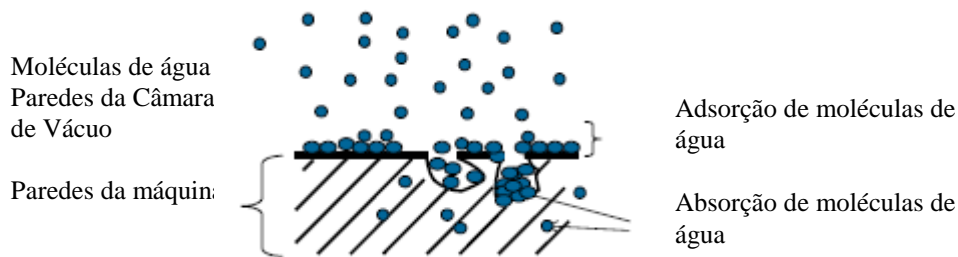


Figura 1.7 - Absorção e adsorção de moléculas de água nas chapas de Aço Inoxidável [4]

Se este fenómeno não for controlado, pode originar, instabilidade do processo de bombeamento (dificuldade em atingir o vácuo necessário para a evaporação dos produtos a depositar), do tempo de ciclo e do ar residual, colocando em risco o produto final e a rentabilidade do equipamento de vácuo [4].

Ao longo do tempo, este fenómeno é acentuado pelas camadas de material depositado nas paredes da câmara (Figura 1.8).

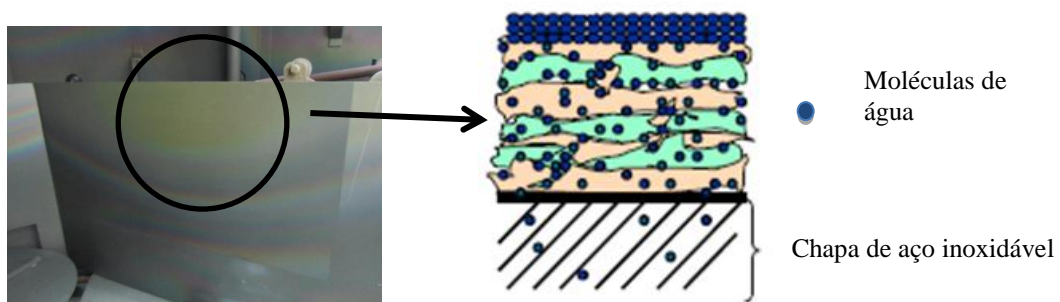


Figura 1.8 - Chapas de aço inox com moléculas de água entre o material evaporado [4]

As moléculas de água (provenientes da limpeza física a jato de água e areia), limita significativamente o bombeamento, por conseguinte, a velocidade. Estes influenciam a constituição do vácuo residual e, assim, o desempenho do produto final [4].

1.5. Ferramentas *LEAN*

O setor onde é feita a limpeza desta chapas, é uma área isolada da produção, apresentando-se bastante descuidado. Desta forma, foram utilizadas ferramentas *Lean* para proceder à sua otimização e rentabilidade.

O conceito *Lean* é uma filosofia orientada para a melhoria contínua dos processos e para a focalização de meios e métodos necessários, de modo a minimizar todos os desperdícios e promover essas mesmas melhorias. Tendo cinco princípios chave [5]:

Identificar o Valor - Definir o que é valor de acordo com a perspetiva do cliente;

Identificar Cadeia de Valor - Identificar na cadeia de valor as etapas de valor acrescentado e não acrescentado, eliminando o desperdício;

Estabelecer o Fluxo Contínuo - Criar um fluxo constante e contínuo;

Produção Pull - Produzir de acordo com o pedido do cliente;

Procura da Perfeição - Procura de melhoria contínua [5].

Esta filosofia tem como principal objetivo a eliminação de desperdícios, referenciados na figura 1.9 e consequentemente unir as etapas que realmente acrescentam valor ao produto.

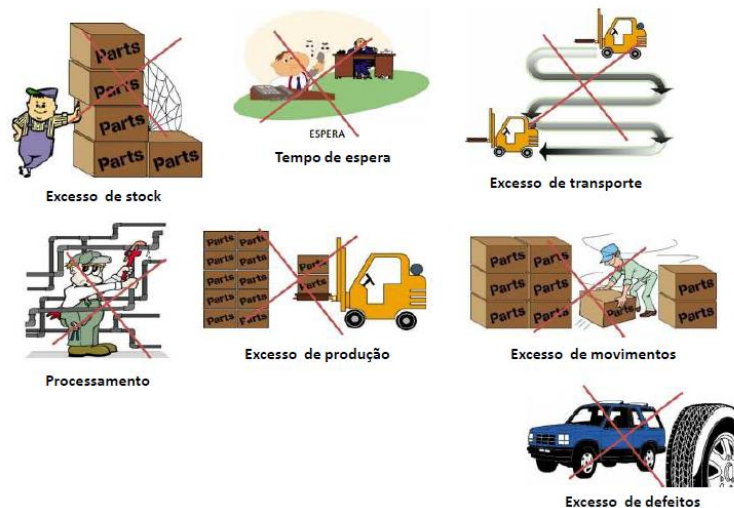


Figura 1.9 - Os sete desperdícios *LEAN* [6]

Para o sucesso desta filosofia são conhecidas várias técnicas, tais como: VSM (Mapeamento do Fluxo de Valor); TPM (Manutenção Produtiva Total); Poka Yoke; 5'S; Diagrama Causa-Efeito; Gestão Visual; Mapa Sipoc; Trabalho Padronizado; SMED (Redução de Setup); DMAIC; Roda da Vida; Produção celular (em fluxo contínuo); Swimlanes; Takt time (Balanceamento da Produção); Project Chart; Pareto; Kanban (Sistema Pull); Kaizen (Melhoria Contínua); Diagrama de Spaguetti; After Action Report; entre outras [6].

Para o desenvolvimento deste trabalho, as técnicas utilizadas, serão: Mapa Sipoc (Supplier, Input, Process, Output, Consumer), SMED (Single Minute Exchange of Die), KANBAN, 5's e Diagrama de spaguetti.

O Mapa Sipoc permite obter uma visão instantânea das informações do processo, visão macro. Este é muito útil no início de um projeto, fornecendo informações antes do início do trabalho, assim como, em qualquer fase do projeto, permitindo uma reavaliação [7].

O SMED é uma ferramenta que permite de forma rápida e eficiente modificar o produto de uma linha de produção. Esta consiste em estabelecer duas categorias de operações *Setup*, o *Setup* interno e o

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Setup externo. Fazem parte do Setup interno todas as operações que apenas podem ser executadas com a máquina parada e do Setup externo todas as operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento [5; 8].

O Kanban tem como objetivo ter o material correto, no local correto na hora exata, conduzindo à resolução dos problemas mais comuns, como a falta de material no momento de produção ou o material em excesso [9]. Funciona de acordo com a metodologia *PULL*.

A metodologia 5S deriva de cinco palavras japonesas; Seiri (Separar), Seiton (Arrumar), Seison (Limpar), Seiketsu (Normalizar) e Shitsuke (Manutenção). Esta tem como objetivo a melhoria da organização dos ambientes de trabalho, graças à mudança de atitude das pessoas [10; 5].

Diagrama de Spaguetti é uma metodologia simples que ajuda a estabelecer o Layout ideal com as observações das distâncias percorridas e tempo consumido na realização de uma determinada atividade. Este tem como objetivo identificar áreas com movimentos desnecessários e consequentes desperdícios em deslocações/movimentos [6].

Capítulo 2 - Material e Métodos

2.1. Produção de amostras

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário produzir dois tipos de amostras.

- Chapas de aço inox 304 de 1 cm por 1 cm de duas espessuras diferentes, sendo estas referentes às diferentes espessuras encontradas nas chapas onde incide o estudo, figura 2.1.

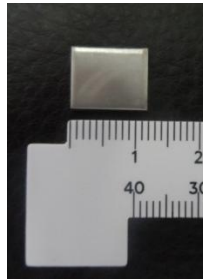


Figura 2.1 - Amostras de chapas aço inoxidável 304

- Amostras de areia nova (a) e areia reutilizada (b), figura 2.2.

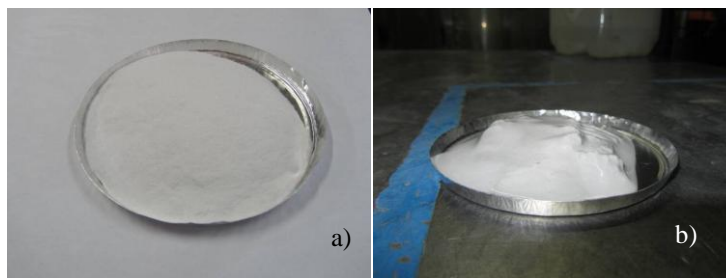


Figura 2.2 - Amostras de areia. a) Areia nova; b) Areia reutilizada

Para o primeiro conjunto de amostras foi necessário soldar as amostras de aço inoxidável a um arame através de soldadura por resistência, de forma a ser possível a sua colocação na máquina de vácuo (Satis).

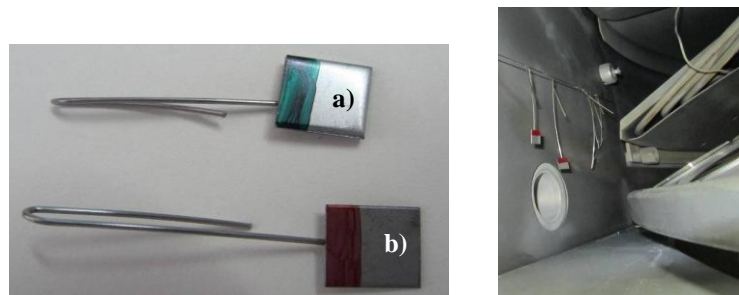


Figura 2.3 - Amostras de chapas aço inox 304. a) Chapas com 1,5 mm de espessura; b) Chapas com 0,7 mm de espessura.

A figura 2.3 mostra as amostras de aço inoxidável 304 que foram pintadas de forma a criar um degrau. As chapas são pintadas e posteriormente colocadas na máquina real de forma a sofrerem as mesmas evaporações que as chapas reais, como mostra a figura 2.3.a) e 2.3.b). Posteriormente são retiradas e a zona pintada é retirada através de acetona. Assim, ficamos com uma zona com material evaporado e outra com a chapa virgem, criando desta forma um degrau para posterior análise da espessura do filme fino depositado.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Como estas chapas são colocadas na máquina ao mesmo tempo, de forma a facilitar a sua distinção foram pintadas de vermelho as chapas com 0,7 mm de espessura e de verde as chapas com 1,5 mm de espessura.

De acordo com o plano de limpeza das Satis utilizado na Essilor Portugal foram escolhidas para o estudo as posições que correspondem às chapas que suportam sem limpeza mais e menos evaporações.

A chapa situada na posição 5 suportam 2 evaporações, sendo esta mais afetada com as evaporações por se situar na zona da queima dos produtos a evaporar. A chapa na posição 20a/20b suporta 130 evaporações estando esta posicionada longe do cone de evaporação acabando por ser menos afetada, como mostra a figura 2.4.

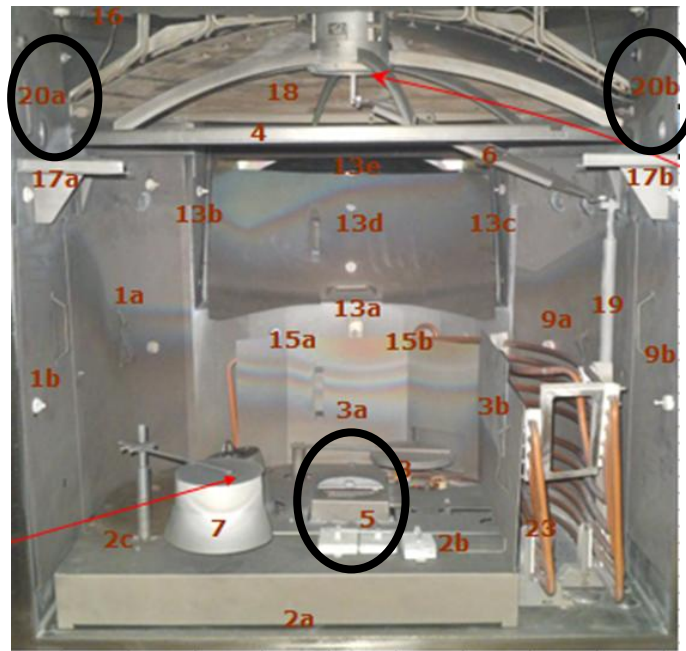


Figura 2.4 - Interior da câmara Satis

Relativamente às amostras de areia nova, esta será retirada diretamente do filtro de origem, como mostra a figura 2.5 e estudada sem ter nenhum tipo de processamento.

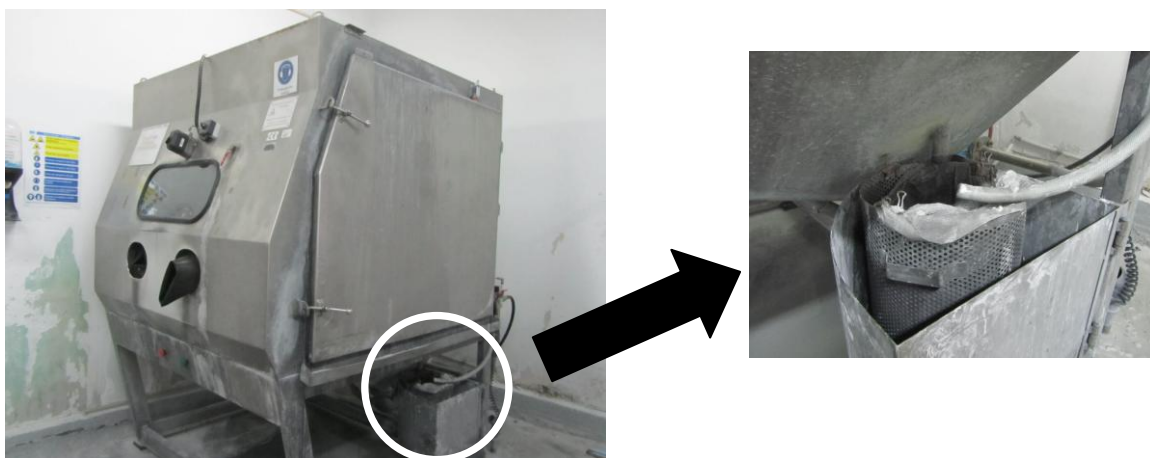


Figura 2.5 - Zona de recolha da pasta na máquina *Sableuse*

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Como o equipamento apresenta-se em circuito aberto, a areia reutilizada será a areia retirada da saca de armazenamento de resíduos do equipamento. Contudo, esta areia encontra-se em forma de pasta, visto que está misturada com água para obter o jato de água e areia.

Assim, esta pasta será retirada da referida saca e seca em estufa durante cerca de 30 minutos para posterior avaliação da sua granulometria e composição elementar, visível na figura 2.6.

Serão analisadas amostras de areia reutilizadas, sendo cada uma referente a 24h, 48h, 72h e 96h de trabalho, às quais se deu o nome de 1ª pasta, 2ª pasta, 3ª pasta e 4ª pasta respetivamente.



Figura 2.6 - Amostras de pasta. a) Pasta acabada de recolher; b) Pasta depois de seca

2.2. Técnicas de análise

Foram efetuados vários testes de análise às amostras de forma a ser possível a sua caracterização. Tendo sido escolhidas análises de acordo com a utilidade das amostras no seu contexto real.

Nas amostras de areia nova e reutilizada, foram feitas análises por fluorescência de raio-X (FRX) no equipamento de marca Panalytical que se encontra no centro de investigação CENIMAT e análise granulométrica por peneiração no jogo de peneiros com espessura de malhas que variam entre 355 e 45 μm (355, 212, 180, 125, 75 e 45 μm) da Fisher Scientific Company que se encontra no Instituto Superior Técnico (IST).

Na amostra de areia nova tanto a análise por FRX como a peneiração foram úteis para a confirmação dos dados fornecidos pelo fornecedor.

Na amostra de areia reutilizada o FRX dá-nos a composição química existente nesta e a peneiração permite-nos determinar qual a granulometria mínima que iremos encontrar na nossa areia em utilização, visto que esta vai perdendo granulometria à medida que é utilizada.

Nas amostras de aço inox, as análises consistiram em dois grandes focos. A determinação e análise dos filmes finos depositados nas respetivas amostras e o impacto do método de limpeza na superfície destas mesmas amostras.

Relativamente à análise dos filmes finos depositados, foi feita a determinação da espessura destes mesmos filmes através de dois métodos, um método mecânico por comparador desenvolvido na Essilor Portugal e um método ótico por microscopia de foco infinito realizado no Instituto Pedro Nunes, figura 2.7.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

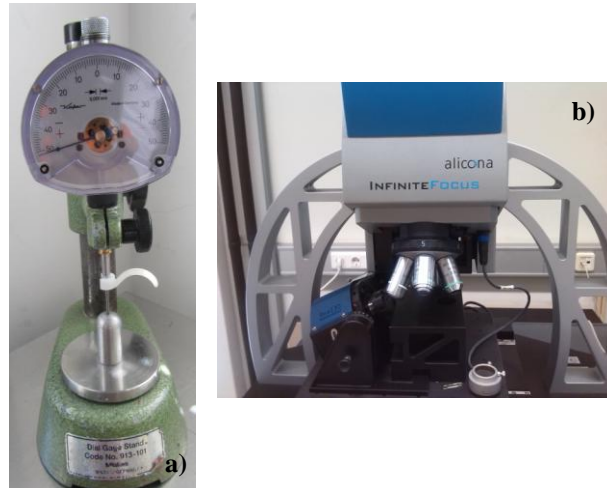


Figura 2.7 - Determinação de espessuras de filmes. a) Comparador; b) Microscópio de Foco Infinito

Quanto à análise do impacto do método de limpeza na superfície da amostra, esta foi feita através microscopia eletrônica de varrimento com espectroscopia de energia por dispersão de raio X (SEM-EDS) no equipamento Scanning Electron Microscopy (SEM) CrossBeam Workstation (SEM-FIB) by Zeiss Auriga que se encontra no centro de investigação de materiais, CENIMAT.

Capítulo 3 - Resultados e Discussão

3.1. Análise de amostras de aço inox

3.1.1. Microscópio Foco Infinito (IFM)

De forma a obter resultados relativamente ao processo de limpeza, deu-se início à caracterização das amostras de aço inoxidável 304.

Através do método de microscopia de foco infinito utilizado no Instituto Pedro Nunes, figura 3.1, é possível determinar a espessura dos filmes finos depositados nas chapas nas posições 5 e 20a/20b em chapas virgens, chapas limpas antes da deposição com areia nova, com 1ª pasta e por último com a 2ª pasta.

Esta análise tem como objetivos a caracterização dos materiais envolvidos no desenvolvimento do trabalho assim como a influência da limpeza com os vários tipos de areia.

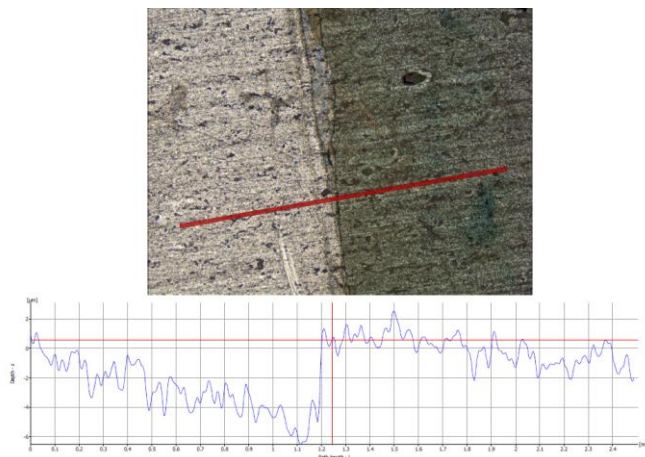


Figura 3.1 - Imagem através de microscópio Foco Infinito de uma chapa sem limpeza com 2 evaporações

Tabela 3.1 - Espessura dos filmes finos através de método ótico

Limpezas	Número de Evaporações	Posição	Chapa Fina (0.7 mm)	Chapa Grossa (1.5 mm)
			Espessura (µm)	
Sem Limpeza	2	5	10	6
	130	20a/20b	6	2
Areia Nova	2	5	2	2
	130	20a/20b	4	2
1ª Pasta	2	5	2	1,5
	130	20a/20b	8	2
2ª Pasta	2	5	4	2
	130	20a/20b	2	3
Erro = 1 µm				

Este método apresentou alguns problemas na determinação destas espessuras, tais como, a irregularidade da superfície da chapa, ou seja, esta ser bastante rugosa, o degrau não ser uniforme e regular, assim como a superfície de apoio apresentar o ponto de soldadura bastante saliente, fazendo com que a chapa não apoie totalmente no porta amostras.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Através da Tabela 3.1 observa-se que a espessura de material depositado é superior em chapas virgens, superior em chapas de menor espessura (0,7 mm) tal como na posição 5. Contudo, não existe grande variação de espessuras das chapas limpas com os diferentes tipos de areia.

Estes resultados podem estar relacionados com o fato das chapas virgens nunca terem sido limpas, levando a que a superfície esteja com rugosidades elevadas, assim como a chapa maior espessura ser uma superfície mais polida dificultando a aderência do material depositado. Por último a chapa na posição 5 tem uma espessura superior porque se trata de uma posição em que o foco de deposição é mais agressivo. Contudo, isto não é linear em toda a análise, este facto pode estar relacionado com o tipo de tratamento utilizados durante os teste, visto estes terem sido desenvolvidos em produção.

Desta forma, conclui-se que a limpeza com os diferentes tipos de areia não criam influência negativa na deposição de filmes finos nas chapas analisadas. Assim, o reaproveitamento da areia constitui um processo bastante viável, por motivos económicos.

3.1.2. Medidor de espessuras (Método mecânico)

Para análise destas espessuras também foram feitas medidas através de método mecânico, figura 3.2, sendo este um método mais rápido e económico, contudo com mais erro de manuseamento associado.

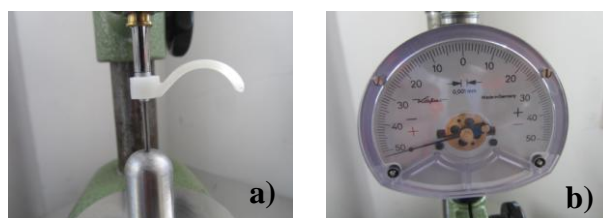


Figura 3.2 - Método mecânico. a) Zona de colocação da amostra; b) Zona de resultados da espessura

Este método consiste em colocar a chapa sem deposição na zona de colocação da amostra e observar o valor da espessura. Posteriormente, repetir para a zona com material depositado e por último subtrai-se os valores e determina-se o valor da espessura dos filmes finos.

Tabela 3.2 - Espessura dos filmes finos através de método mecânico

Limpezas	Número de Evaporações	Posição	Chapa Fina (0.7 mm)	Chapa Grossa (1.5 mm)
			Espessura (μm)	
Sem Limpeza	2	5	10	5
	130	20a/20b	5	3
Areia Nova	2	5	2	3
	130	20a/20b	4	1
1ª Pasta	2	5	1	1
	130	20a/20b	9	2
2ª Pasta	2	5	5	2
	130	20a/20b	3	2
Erro = 0,5 μm				

Este método foi realizado e comparado com o método por microscopia de foco infinito.

Comparando a tabela 3.1 com a tabela 3.2 é possível concluir que as diferenças observadas são na escala de 1 μm , podendo este valor estar associado ao manuseamento do equipamento. Assim, é possível concluir que este processo se torna bastante viável em análise simples em que a precisão não precisa de ser elevada.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

3.1.3. Microscópio eletrônico de varrimento (SEM)

De forma a complementar a caracterização destas amostras, procedeu-se à sua análise por SEM.

A análise da morfologia das amostras de aço inoxidável utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foi crucial para entender e concluir a importância destas chapas no revestimento das câmaras de vácuo.

Foram analisadas duas espessuras diferentes de chapas virgens, chapas com 2 e 130 evaporações e chapas limpas com a areia nova e as referidas pastas.

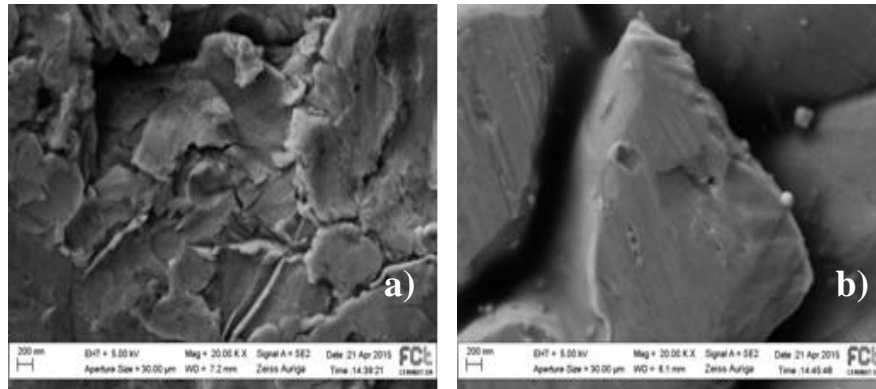


Figura 3.3 - Imagens SEM de chapa aço inox Virgens com ampliação de 20.000x. a) Chapas com 0,7mm de espessura; b) Chapa com 1,5 mm de espessura;



Figura 3.4 - Chapa real utilizada em produção

Através da figura 3.3 é possível concluir que a chapa com maior espessura apresenta uma morfologia que facilita a deposição dos óxidos. Concluindo-se que as chapas com 1,5mm de espessura apresentam mais vantagens na utilização deste processo. A figura 3.4, representa a chapa real utilizada em produção.

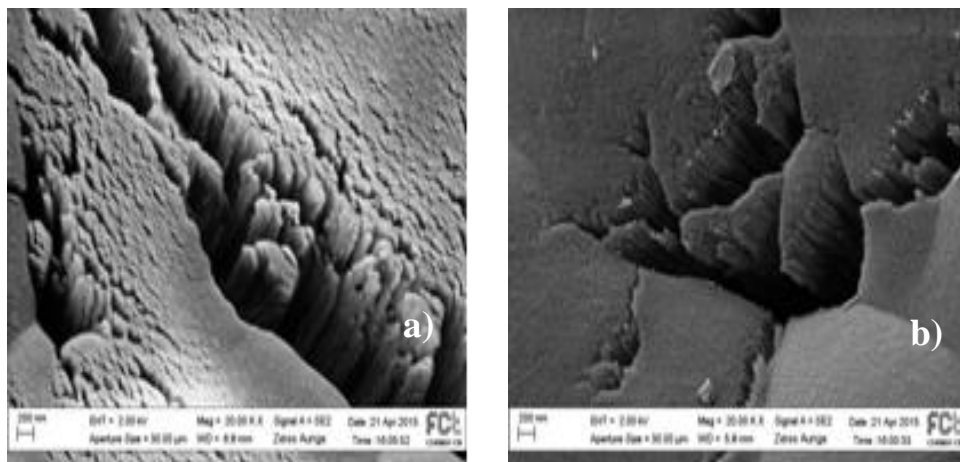


Figura 3.5 - Imagens SEM de chapa de aço inox com 2 evaporações e ampliação de 20.000x. a) Chapa com 0,7 mm de espessura;b) Chapa com 1,5mm de espessura;

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

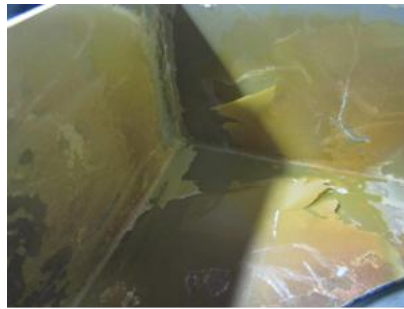


Figura 3.6 - Chapa real utilizada em produção

Posteriormente, foi feita esta mesma análise para as chapas com 2 deposições, através da figura 3.5 é possível concluir que as chapas com menor espessura acaba por ter quase todas as suas rugosidades ilegíveis, assim como um desnível de material evaporado, este facto é representado a olho nu, pelo descascamento do filme depositado como mostra a figura 3.6. Desta forma, conseguimos justificar o fenómeno do descascamento.

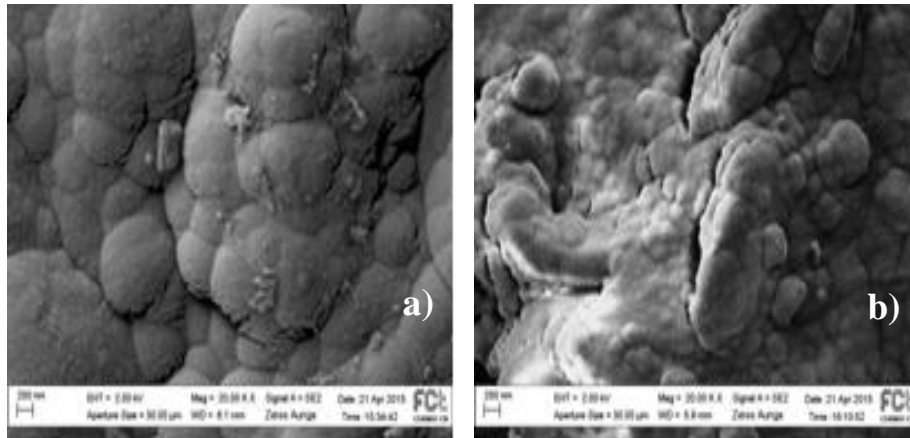


Figura 3.7 - Imagens SEM de chapas de aço inox com 130 evaporações e ampliação de 20.000x. a) Chapa com 0,7mm de espessura;b) Chapa com 1,5 mm de espessura;

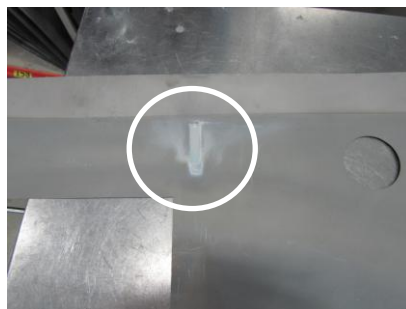


Figura 3.8 -Chapa real utilizada em produção

De forma a ser possível comparar as duas posições utilizadas, esta análise foi também feita nas chapas com 130 evaporações como mostra a figura 3.7. Nesta é possível concluir que estes filmes depositados não são uniformes, este fato pode ser justificado por estas sofrerem mais evaporações contudo menos agressivas, criando esta morfologia tipo “bolhas”. Através da figura 3.8 é possível verificar a zona que sofre a evaporação referida.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

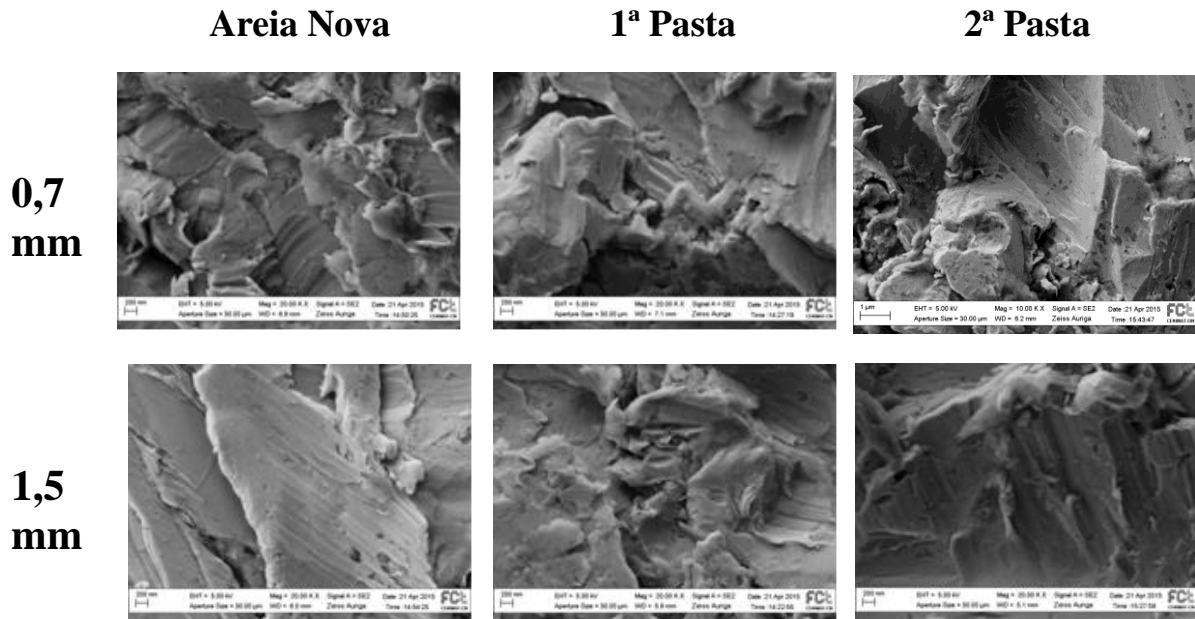


Figura 3.9 - Imagens SEM de chapas aço inox limpas com jato de água e areia depois de sofrerem 2 evaporações e ampliação de 20.000x

Seguidamente, analisaram-se as chapas limpas com a areia nova, a 1ª e 2ª pasta, para que fosse possível determinar a influência desta limpeza na superfície da chapa, como mostra a figura 3.9.

Analisadas as chapas referidas anteriormente é possível verificar que relativamente à utilização de areia nova e areia reutilizada a diferença não é visível em nenhuma das diferentes espessuras da chapa. Contudo, comparando a chapa de menor e maior espessura é visível diferenças na morfologia apresentada, este fato pode estar relacionada com a chapa mais grossa apresentar uma maior rugosidade.

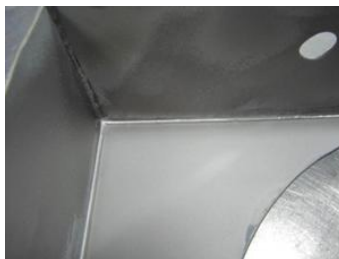


Figura 3.10 - Chapa Real limpa que sofreu anteriormente 2 evaporações, utilizada na Essilor Portugal

Observando a chapa limpa, figura 3.10, verifica-se que esta diferença de morfologias não é visível a olho nu. Contudo, observando uma chapa nova como mostra a figura 17c e esta chapa que já foi limpa, verifica-se que esta última é mais baça, sendo justificado pelo método de limpeza ser um processo abrasivo.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

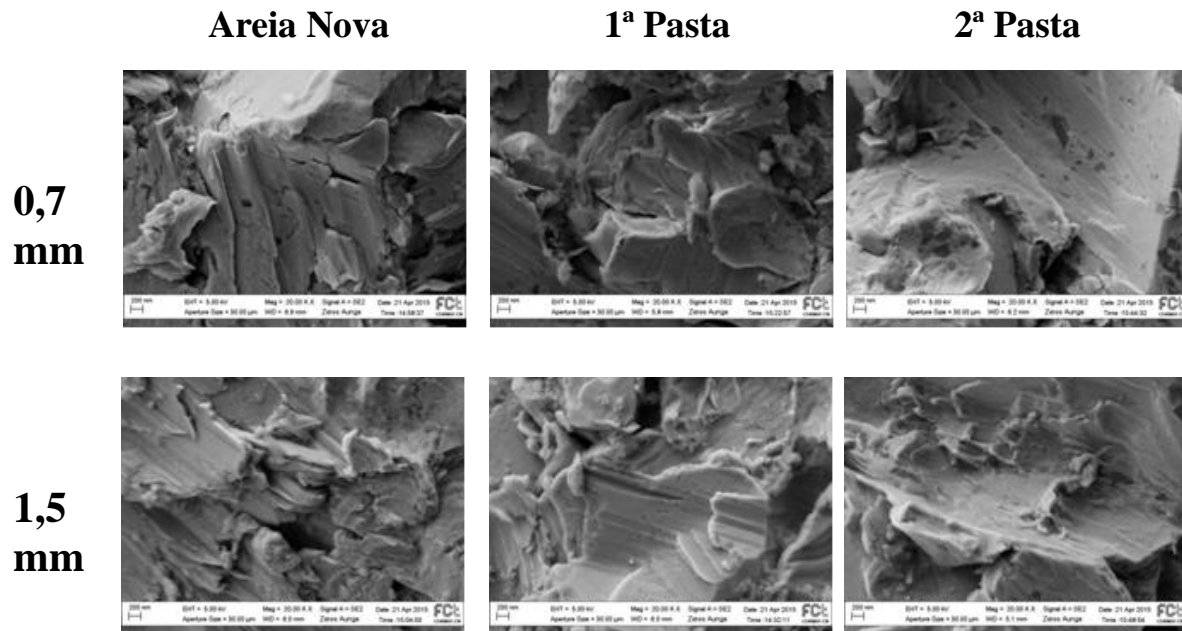


Figura 3.11 - Imagens SEM de chapas aço inox limpas com jato de água e areia depois de sofrerem 130 evaporações e ampliação de 20.000x



Figura 3.12 - Chapa Real limpa que sofreu anteriormente 130 evaporações, utilizada na Essilor Portugal

Por último, foi feita a análise anterior mas desta vez para as chapas que sofreram 130 evaporações, figura 3.11. Nestas, verifica-se uma grande aproximação de morfologia entre as duas espessuras assim como nos vários tipos de areia utilizados. Poderá relacionar-se este fato com o de esta chapa sofrer uma evaporação menos agressiva devido à sua localização dentro da câmara, sendo uma evaporação mais uniforme e não variando com as diferentes espessuras.

A figura 3.12, mostra a chapa real depois de limpa com jato de água e areia.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

3.1.4. EDS

De forma a concluir o estudo das amostras de chapas de aço inoxidável 304, procedeu-se à análise destas através de EDS de forma a relacionar o material que fica depositado nestas amostra com o que é evaporado.

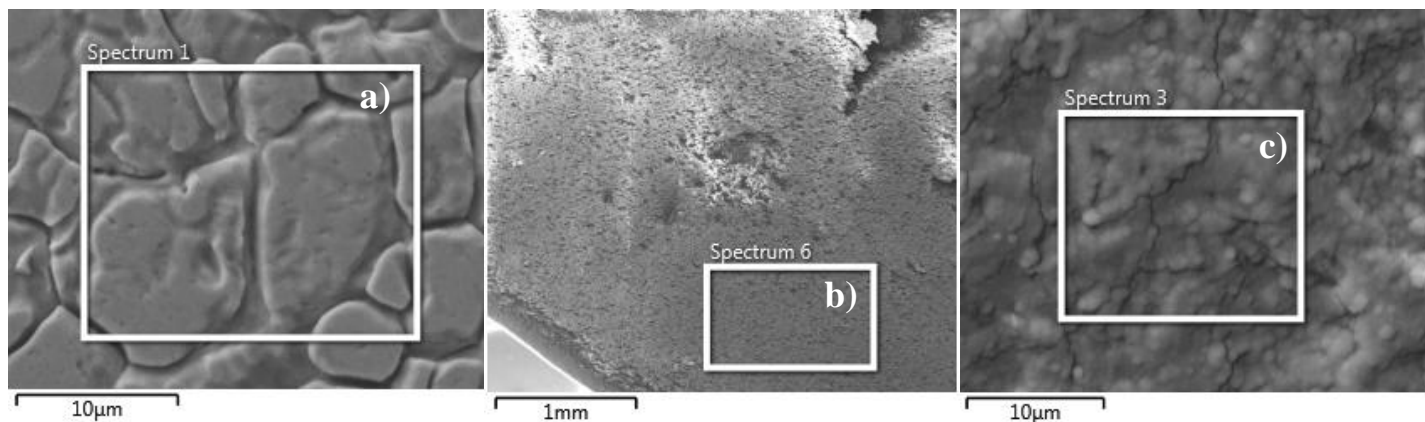


Figura 3.13 - Imagens por SEM . a) Chapa Virgem; b) Chapa de 0,7 mm de espessura com 2 Evaporações c) Chapa de 0,7mm de espessura com 130 Evaporações

De acordo com a tabela 3 e comparando a chapa virgem e a chapa com 0,7 mm de espessura com as 2 e 130 evaporações é possível concluir que existem elementos comuns, sendo de esperar que são referentes ao substrato (chapa), tais como A, B e E, sendo os resultados apresentados com esta designação por se apresentarem informações confidenciais da empresa. Sendo os restantes elementos apresentados pertencentes aos filmes finos depositados.

Tabela 3.3 – Análise elementar das amostras de aço inox 304 virgem e com 0,7 mm de espessura que sofrem 2 e 130 evaporações (por questões de confidencialidade, os elementos são designados por letras)

Espessuras das chapas (mm)	Posição	Evaporação	Elementos	Percentagem (%)
Chapa Virgem			A	6,82
			B	0,34
			C	17,21
			D	1,29
			E	66,62
			F	7,72
0,7	5	2	A	4,67
			G	48,82
			H	0,56
			B	20,01
			E	0,69
			I	25,25
	20a/20b	130	A	6,84
			G	29,53
			Q	3,3
			J	0,16
			H	1,54
			L	0,72
			B	16,36
			C	4,41
			E	13,40
			F	1,41
			I	20,31
			M	2,02

3.2. Amostras de areia

3.2.1. Fluorescência de raio-x (FRX)

Depois de concluída a análise às amostras de Aço inoxidável 304. Deu-se início à análise das amostras de areia nova e reutilizada. Começando pela análise por Fluorescência de raio-x.

Tabela 3.4 - Composição química dada pelo fornecedor

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Al ₂ O ₃	99,70 %
SiO ₂	0,03 %
Fe ₂ O ₃	0,01 %
TiO ₂	0,01 %
Na ₂ O	0,2 %
CaO+MgO	0,04 %

Tabela 3.5 - Análise por FRX. a) Areia Nova b) Areia usada

	Compound Name	Conc. (%)
1	Al	100.

a)

	Compound Name	Conc. (%)
1	Al	98.
2	Si	1.9
3	Cr	0.048
4	Zr	0.45
5	Sn	0.049

b)

A análise da areia nova através de FRX teve como objetivo a confirmação da informação dada pelo fornecedor que se encontra na tabela 3.4.

Observando a análise por FRX da areia nova , tabela 3.5.a), esta apresenta Al em vez de Al₂O₃ como seria de esperar. Tal deve-se à forma como o equipamento apresenta os resultados de análise. Assim, confirma-se os dados fornecidos pelo fornecedor.

Posteriormente fez-se esta mesma análise para areia reutilizada, figura 3.5.b), tendo sido encontrados elementos como Si, Cr, Zr e Sn, sendo estes os elementos que se encontram depositados em forma de óxidos nas chapas que são lavadas com esta areia. Assim, verifica-se que esta areia reutilizada está contaminada com estes mesmos elementos.

3.2.2. Peneiração

Posteriormente, foi feita a análise granulométrica das amostras de areia. Este estudo teve como objetivo a confirmação das dimensões da areia relativamente aos dados fornecidos pelo fornecedor, assim como, determinar a dimensão da areia reutilizada nas limpezas.

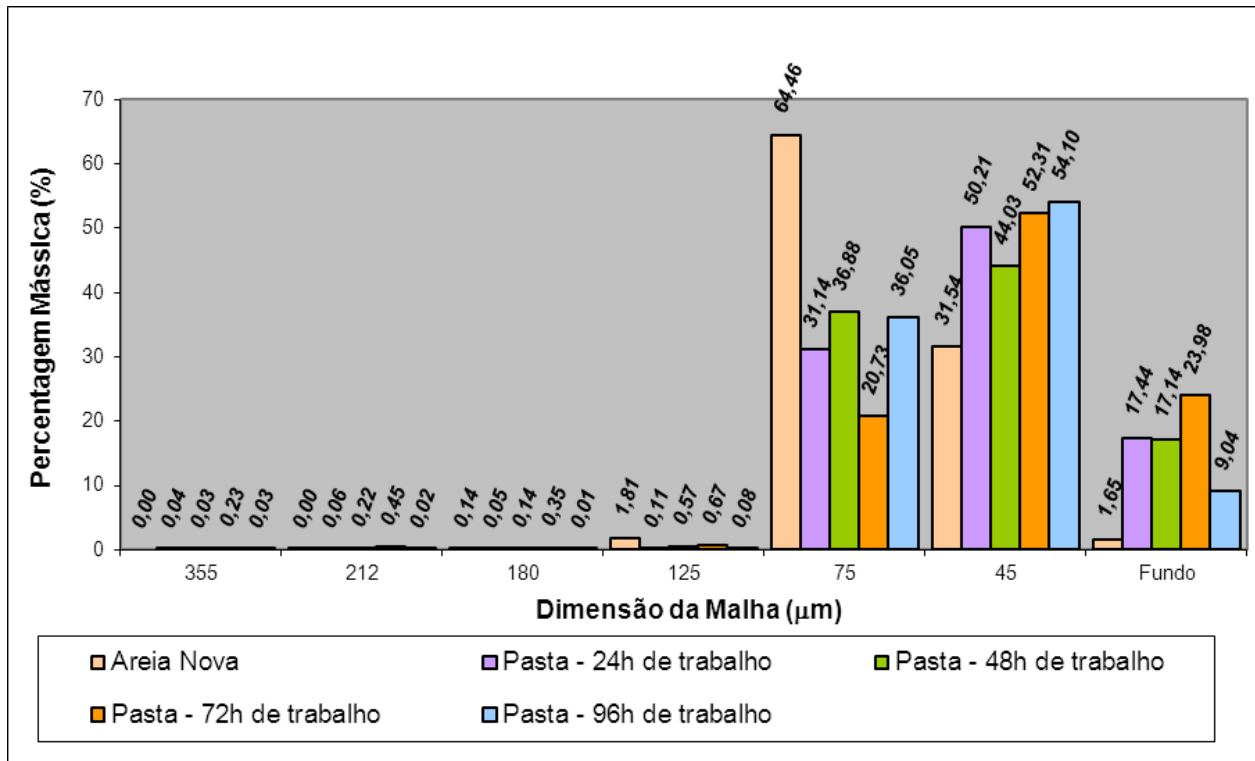


Gráfico 3.1 - Análise granulométrica da areia

Este estudo teve como objetivo a confirmação das dimensões da areia relativamente aos dados fornecidos pelo fornecedor, assim como, determinar a dimensão da areia reutilizada nas limpezas.

Através do gráfico 3.1, verifica-se uma diminuição acentuada da granulometria da areia reutilizada em comparação com a areia nova, tal como ao longo do tempo de utilização, isto deve-se ao fato de se tratar de um processo de limpeza abrasivo.

Durante os testes desenvolvidos observou-se que na areia reutilizada esta apresentava bastante óxidos (derivados da limpeza das chapas), acabando por ficar retidos no peneiro de 125μm, como mostra a figura 3.14.

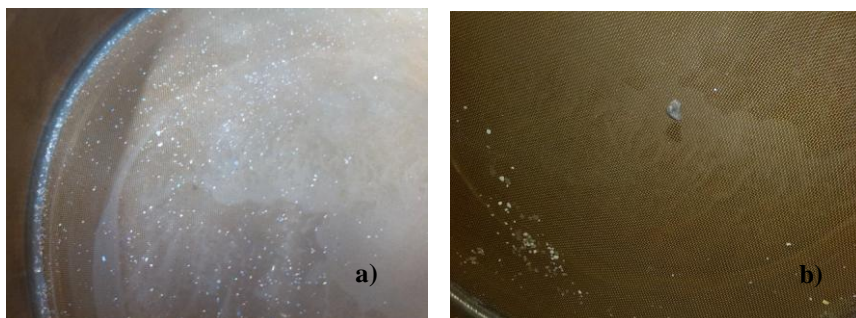


Figura 3.14 – a) Óxidos; b) resíduos de queima de produtos em peneiro de 125 μm

3.3.Otimização da zona de trabalho/ Ferramentas *Lean*

As ferramentas *LEAN* têm como objetivo o aumento da produtividade, organização do fluxo de trabalho e disponibilidade da máquina, tal como, a diminuição dos desperdícios, custos e setup.

3.3.1. Mapa SIPOC

Este trabalho focou-se numa área específica da Essilor Portugal, desta forma foi construído para a mesma um mapa *sipoc*, apresentado na figura 3.15. Este vai ajudar na definição das fronteiras do processo.

S upplier <u>Fornecedor</u>	I nput <u>Entradas</u>	P rocess <u>Processo</u>	O utput <u>Saídas</u>	C ostumer <u>Clientes</u>
TSV (Tratamento Sob Vácuo de lentes)	<ul style="list-style-type: none"> • Chapas Sujas • Argolas Sujas • Desmontagem de máquinas 	Limpeza de jato água e areia	<ul style="list-style-type: none"> • Chapas Limpas • Argolas Limpas • Montagem de máquina 	TSV (Tratamento Sob Vácuo de lentes)

Figura 3.15 - Mapa Sipoc

3.3.2. Diagrama Spagueti

Posteriormente foi analisada a zona de trabalho do processo de limpeza, onde se verificou que o operador desta área fazia mais deslocações que as necessárias.

O processo de limpeza consiste em colocar as chapas sujas dentro da máquina, proceder à sua limpeza, colocar as chapas na estufa e por último nas prateleiras. Com estas tarefas foi possível desenhar o diagrama Spagueti correspondente às deslocações do operador *Sableuse*, como mostra a figura3.16.

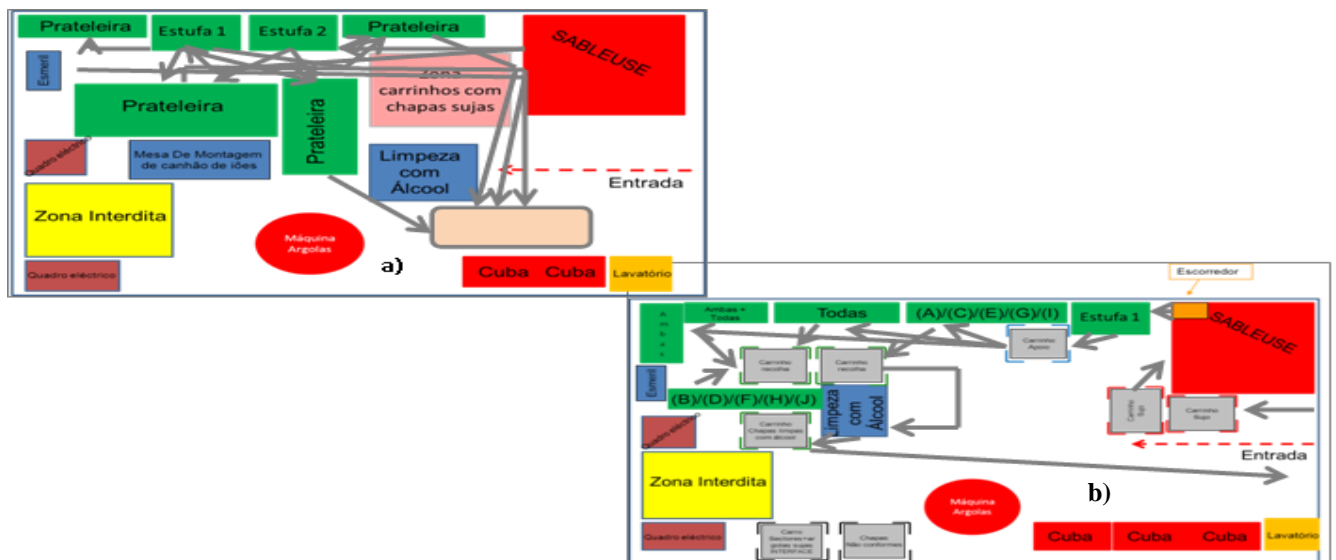


Figura 3.16 - Diagrama Spagueti para o setor *Sableuse*. a) Antes da mudança de Layout; b) depois da mudança de Layout

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Este Diagrama permitirá definir o *Layout* ideal de modo a reduzir os desperdícios relacionados com as deslocações e movimentos do operador e otimizar o processo.

Assim, procedeu-se a algumas alterações no *Layout* da sala. Foi colocado um escorredor de forma a escorrer o excesso de água que as chapas apresentam quando são retiradas da máquina, as estufas movidas para junto da máquina e as prateleiras identificadas com as limpezas correspondentes de forma a ser mais fácil a sua identificação.

3.3.3. SMED (Single Minute Exchange of Die)

De forma a determinar se estaria a ser aproveitado e rentabilizado todo o tempo de trabalho da máquina de vácuo, foi produzido o seguinte mapa *SMED*, figura 3.17.

	Tarefas (Operador Satis)	Operação	Tempo de MOD/Ciclo (min)
1	Retirar trabalho carro de apoio <i>IN</i>	EXTERNA	26
2	Montar lentes nos setores	EXTERNA	
3	Descarregar/Carregar Satis + Lançar ciclo	INTERNA	9
4	Registos	EXTERNA	
5	Virar Lentes	EXTERNA	25
6	Descarregar/Carregar Satis + Lançar ciclo	INTERNA	11
7	Registos	EXTERNA	
8	Levar carro interface + Registo no Quadro + Trazer carro vazio	EXTERNA	
TEMPO TOTAL		71	

Figura 3.17 – *SMED*

De acordo com a análise deste é possível concluir que todas as operações interna, correspondentes à máquina parada, são obrigatórias de fazer-lo desta forma. Assim, confirma-se que o tempo de máquina está a ser rentabilizado ao máximo.

3.3.4. KANBAN

De forma, a reduzir o tempo de *Setup* (aquando limpeza da máquina) foi criado para este processo uma metodologia Kanban.

Esta metodologia tem como objetivo a identificação do material necessário de forma mais rápida e concisa. De modo a que todo o material necessário à mudança de chapas durante uma limpeza, que se encontram junto do equipamento no momento de paragem da máquina. Para tal, foram colocadas cartas KANBAN com as cartas necessárias a cada limpeza de acordo com o plano de limpeza (em anexo)

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

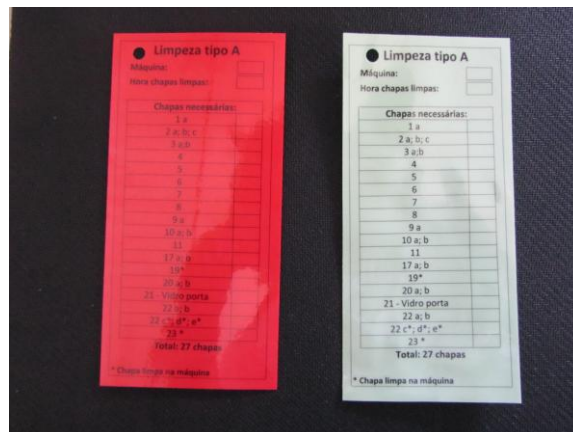


Figura 3.18 - Cartas KANBAN utilizadas na limpeza de chapas das máquinas de vácuo

Como mostra a figura 3.18, estas cartas foram feitas em duas cores distintas, vermelhas e verde, sendo para as chapas sujas e chapas limpas, respetivamente.

Esta metodologia funciona da seguinte forma, de acordo com as limpezas que irão ser feitas ao longo do turno, a chefia entrega as respetivas cartas verdes ao operador que se encontra na Sableuse (área de limpeza de chapas), assim como à hora que estas são necessárias, este tem como responsabilidade ter estas chapas prontas num carrinho com a respetiva carta junto da perspetiva máquina a limpar.

Posteriormente, as chapas retiradas das máquinas (sujas) são colocadas novamente no carro e desta vez colocada no mesmo a carta vermelha, para que o operador consiga identificar que chapas sujas se encontram naquele carro, como mostra a figura 3.19. De modo a ajudar o operador, foi elaborada uma sequência de tarefas que o mesmo deve realizar com a respetiva prioridade.

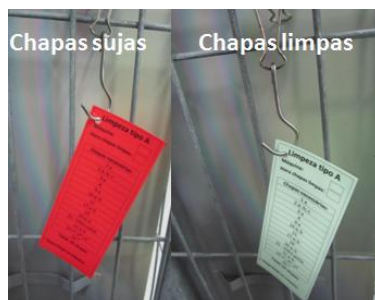


Figura 3.19 - Colocação das cartas nos carros para a colocação de chapas

3.3.5. 5'S

De forma a que a preparação dos carros para proceder à montagem da máquina, recorreu-se à metodologia 5's, que consiste em ter cada coisa no seu lugar.

Esta metodologia teve um grande impacto na otimização da zona de trabalho, visto que permitiu que o operador se deslocasse menos vezes e que o seu trabalho fosse mais organizado.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Esta focou-se em alguns pontos importantes, tais como:

- Identificação das prateleiras onde se arrumam as chapas, por máquina e limpeza, assim como a associação destas à posição da máquina que se encontra no plano de limpeza, figura 3.20;



Figura 3.20 – Prateleiras antes e depois da metodologia a) Espaço disponíveis insuficientes para a totalidade de chapas;b) Com espaço de acordo com o número de chapas e identificação visível das mesmas

- Colocação de um escorredor e a estufa mais próxima da máquina de limpeza, alterando desta forma o Layout da sala, figura 3.21;

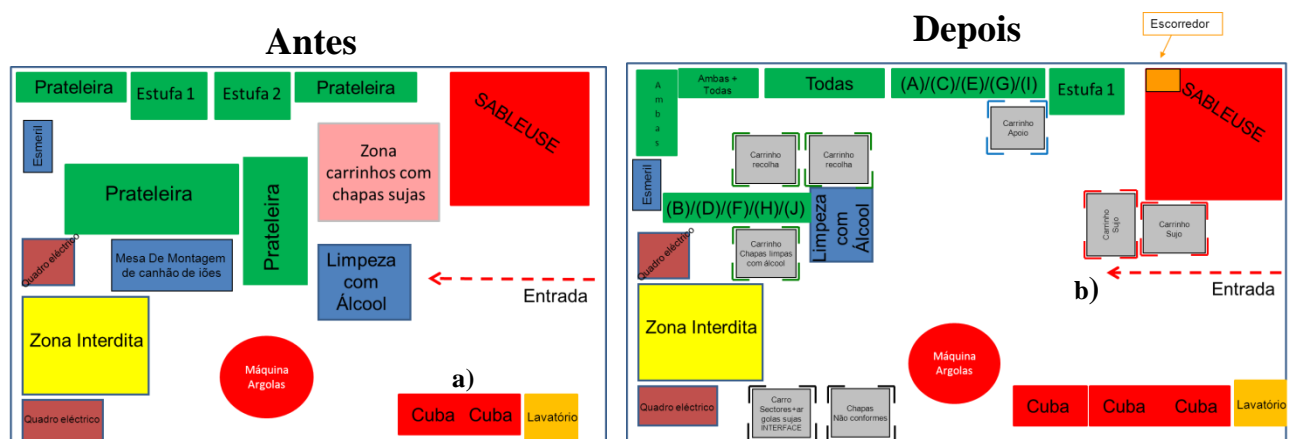


Figura 3.21 - Metodologia 5's. a) Diagrama As Is; b)Diagrama To Be

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

- As prateleiras foram organizadas de acordo com os tipos de limpeza, ou seja, existem chapas que só são utilizadas em algumas das limpezas de acordo com o plano de limpeza. Esta organização reduz as deslocações do operador, figura 3.22.

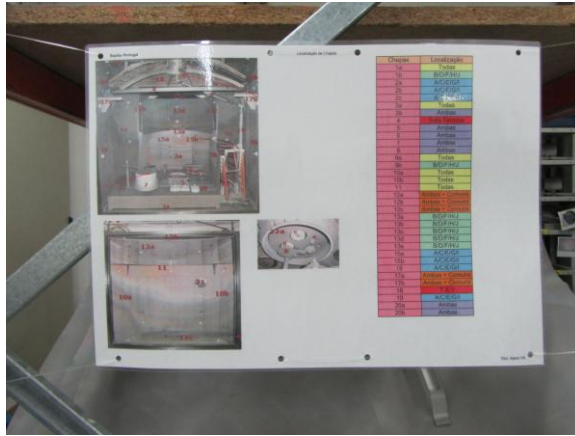


Figura 3.22 - Quadro da organização das prateleiras por tipo de limpeza

- Otimização do carro de transporte de chapas, de modo a transportar sem danificar uma das chapas mais importantes para a produção (Carrosel), figura 3.23;



Figura 3.23 - Carros com alterações

3.4. Otimização do equipamento (*Sableuse*)

O equipamento utilizado para a limpeza das chapas através de água e areia, designado *Sableuse* apresentava alguns aspetos a melhorar de forma a garantir uma melhor utilização assim como garantir uma metodologia de trabalho mais eficaz.

De forma a otimizar o processo de limpeza e dando utilidade a todos os testes feitos às amostras procedeu-se a algumas mudanças nesta máquina, tais como,

- Colocação de novos fechos, de forma a vedar melhor a porta evitando a saída de água e consequente areia, figura 3.24;



Figura 3.24 - Novos fechos na porta da máquina *Sableuse*

- Colocação de um escorredor de maneira que as chapas não fossem para a estufa com excesso de água, figura 3.25;



Figura 3.25 - Escorredor

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

- Eliminar o cesto, fazendo um suporte para a colocação da saca de retenção de areia, figura 3.26;

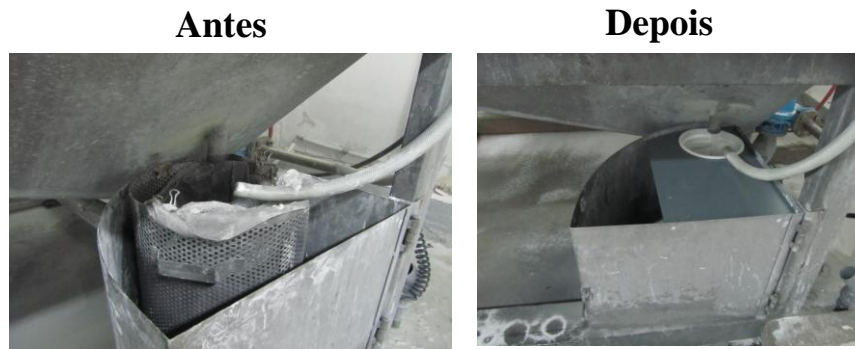


Figura 3.26 - Suporte para colocação de saca filtro

- Introdução de uma chapa dentro da máquina para que fosse criada agitação e não houvesse deposição de areia nas paredes laterais do deposito de água e areia, que se situa dentro da máquina, figura 3.27;



Figura 3.27 - Chapa para provocar agitação da água e areia

Escolha da melhor saca para o efeito pretendido, ou seja, foi colocada uma saca de nylon com 50 μm (imagem b), tendo sido testadas algumas sacas anteriormente, tais como sacas de polipropileno de 25 μm (imagem a). Contudo, estas ultimas apresentavam problemas tanto na lavagem como na extração da água, figura 3.28;

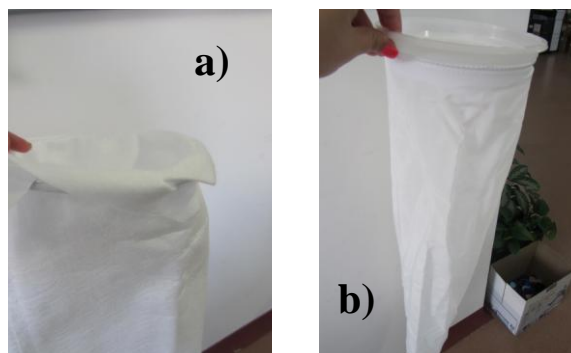


Figura 3.28 - Escolha da melhor saca. a) Saca de Polipropileno de 25 μm ; b) Saca de nylon de 50 μm

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

- No topo da saca foi colocado um peneiro com 125 µm de malha de forma a reter os óxidos que derivam da areia reutilizada, figura 3.29;



Figura 3.29 - Peneiro para retenção de óxidos

- Substituição da borracha do interior da máquina de forma a vedar eficazmente, figura 3.30;



Figura 3.30 - Borracha da porta da Sableuse

- A mangueira do jato de água e areia sofreu aumento em comprimento de forma a adaptar-se à ergonomia do operador, figura 3.31;



Figura 3.31 - Mangueira de jato água e areia

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

- Fizeram-se furos na chapa de apoio da máquina de forma a escoar da melhor forma a areia que se depositava nesta zona, figura 3.32;

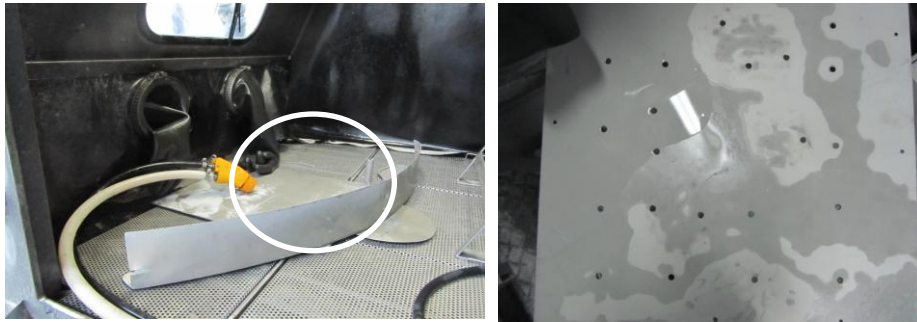


Figura 3.32 - Chapas de apoio à limpeza das máquinas

- Substituição dos acrílicos onde se situam as luzes, figura 3.33;

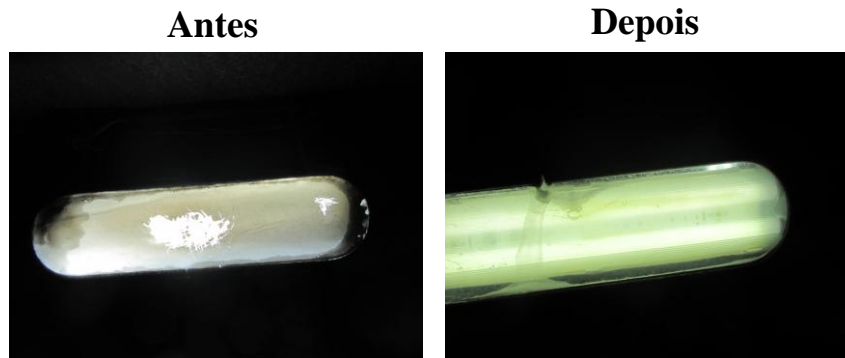


Figura 3.33 - Acrílico das luzes da máquina

3.5. Método Alternativo

Este trabalho tinha também como objetivo a determinação e análise de um método alternativo ao existente para a limpeza das chapas.

Começou por ser analisada uma vasta gama de papeis, apresentados na figura 3.34, que poderiam ser colocados em substituição da chapa e desta forma proporcionar ganhos em tempo e em custos. Destacando-se os seguintes:

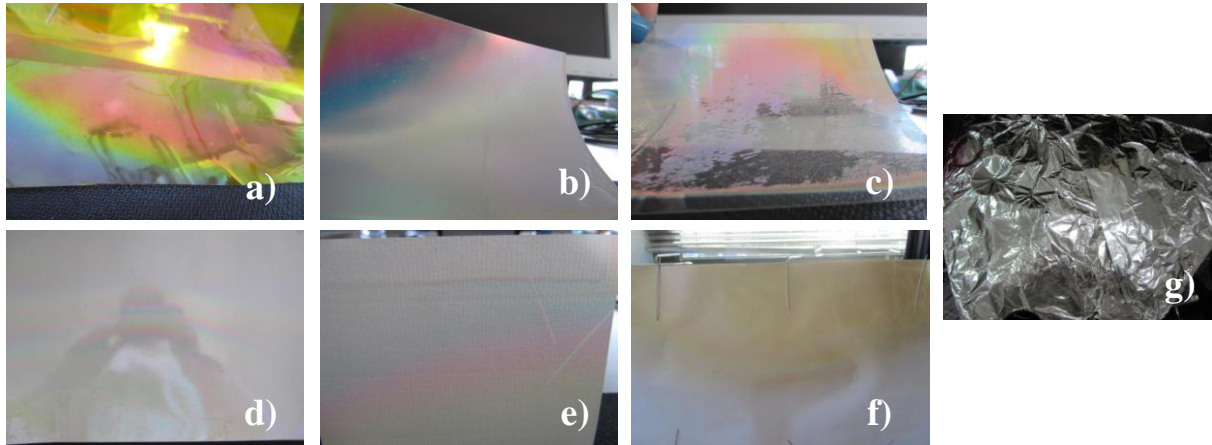


Figura 3.34 - Papeis estudados. a) Poliamida; b) PVC; c)Papel acetato; d) Papel Fotografia; e) Papel Para convites; f) Papel utilizado no setor da coloração da Essilor Portugal; g) Folha de papel alumínio

Inicialmente, os papeis enunciados foram colocados na posição 1b e 3b da máquina de forma a ser possível estudar a quantidade de evaporações que estes aguentavam sem descamar o material evaporado, ou seja, até atingir o seu estado de saturação e se seria uma boa alternativa ao método existente. Sendo que a chapa existente na posição 1b aguenta 52 evaporações e a chapa no posição 3b aguenta 12 evaporações.

A poliamida, o PVC e o papel acetato foram colocados na chapa 1b, tendo aguentado 22 evaporações cada uma delas. Contudo, a poliamida com estas evaporações ainda não descamava contrariamente às outras mas apesar disso o seu custo não é acessível sendo de valor bastante elevado.

O papel fotografia, o papel convite e o papel utilizado na coloração foram colocados na chapa 3b, tendo aguentado 9, 52 e 104 evaporações respetivamente. Assim, o papel de fotografia foi eliminado de imediato, visto que aguenta menos evaporações que a chapa existente nesta posição. O papel de convite e o papel utilizado na coloração já seriam bons papel para substituir a chapa existente. Contudo, o papel de convite teria de ser pedido e negociado preços para a sua compra contrariamente ao papel da coloração que já existe na Essilor Portugal, desta forma, este último foi escolhido para aprofundamento dos testes.

Posteriormente, foi estudada a forma de colocar o papel revestindo as chapas de forma a que a sua colocação e remoção fosse o mais fácil e rápido possível para o operador da área. Tendo sido feito um bloco com duas folhas com picotado para que estas folhas fossem fáceis de remover, como mostra a figura 3.35.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

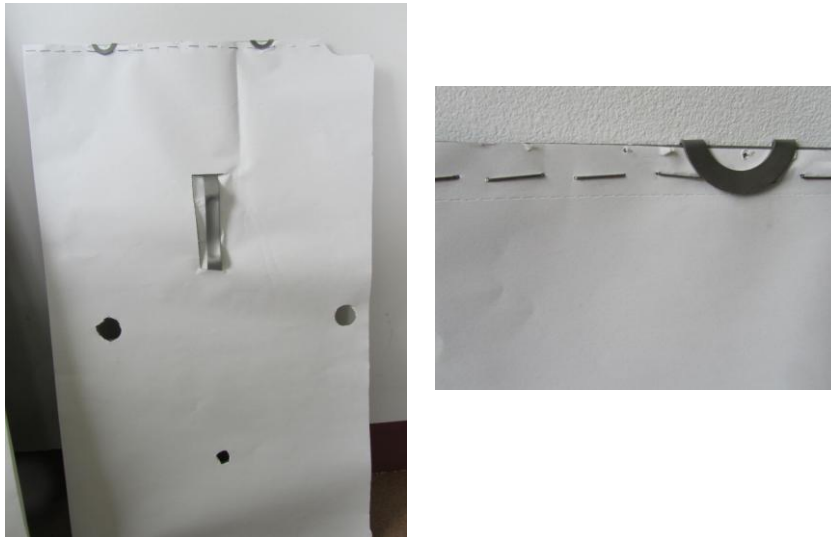


Figura 3.35 - Colocação do papel revestindo as chapas

Foi colocado o papel na máquina e procedeu-se ao seu estudo de forma a garantir que esta alteração não criava problemas para a produção. Este teste inicialmente foi só na chapa de posição 1b, aguentando 22 evaporações e não alterado o tempo de vácuo da máquina.

Seguidamente, iniciou-se a colocação deste papel em mais posições da máquina, tendo sido escolhidos a posição 1b, 10a e 10b (figura 3.36).



Figura 3.36 - Chapa da posição 10a

Depois de ser colocado o papel nesta 3 chapas foi feita novamente a análise. Contudo, contrariamente ao que aconteceu inicialmente esta colocação causou alterações no processo de evaporação. Como mostra o Gráfico 3.2.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

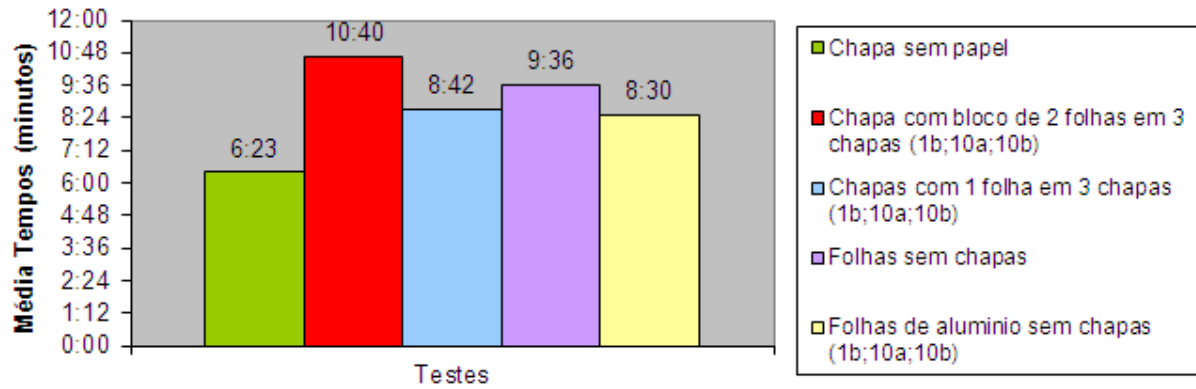


Gráfico 3.2 - Média de tempo de vácuo durante os testes

De acordo com os dados recolhidos, percebeu-se que a máquina com o papel estava a demorar mais tempo até atingir o vácuo para proceder à evaporação dos produtos. Assim, foram feitos testes posteriores. Colocou-se as folhas nas três chapas como posteriormente, mas primeiro com uma única folha e mantendo a chapa e por último a colocação das folhas mas sem suporte das chapas.

Foi possível observar que em todas as situações o tempo de vácuo é sempre superior comparativamente à existência das chapas sem papel.

**Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de
Revestimentos Óticos**

Capítulo 4 – Conclusão e Perspectivas Futuras

A análise das chapas de aço inox teve como intuito analisar a influência da espessura das chapas no processo de deposição e retenção de sujidades da máquina, assim como perceber se o processo de limpeza altera de alguma forma o processo de evaporação de óxidos para a produção de anti reflexo nas lentes oftálmicas.

De acordo com as análises feitas à espessuras dos filmes finos ao longo das limpezas, pode-se concluir que existe uma diferença de espessuras depositadas entre as chapas virgens e as chapas já utilizadas e limpas, mas este fato está relacionado com o processo ser um método abrasivo.

Contudo, nada se pode concluir em relação às chapas limpas com areia nova e areia reutilizada, visto que a limpeza por este método não cria alterações detetáveis na deposição destes filmes. Assim, garante-se a qualidade das lentes com a utilização deste processo.

Posteriormente, procedeu-se à análise das chapas por SEM tendo-se observado que as chapas mais espessas apresentam um nível de rugosidade muito superior às chapas com 0,7 mm de espessura. Desta análise, é possível concluir que estas deveriam ser as chapas utilizadas no revestimento de toda a máquina. Contudo, existem chapas que apresentam dimensões entre os 55 cm e os 125 cm e em zonas não direitas como é o caso da porta, desta forma torna-se difícil o seu transporte e manuseamento, devido ao peso e dimensões.

Por último, fez-se análise por EDS verificando que os compostos que aparecem são os esperados, tratando-se de elementos que são utilizados na evaporação.

Com a análise feita por FRX e peneiração à areia utilizada no processo de limpeza foi possível verificar os dados do fornecedor, assim como realizar uma análise importante à areia reutilizada ao longo do processo. Através da análise por peneiração que foi feita à areia reutilizada, pode-se determinar a importância da utilização de um peneiro.

Este peneiro tem o intuito de reter os óxidos que se encontram nesta areia reutilizada e com este, a areia que é reposta na máquina tem um nível de contaminação mais reduzido.

A escolha da melhor saca filtro para este processo também se tratou de um passo importante. A saca filtro de polipropileno de 25 µm, apresentava problemas no escoamento da água, ou seja, esta saca como tem uma micragem muito reduzida não permitia a saída da água que vem juntamente com a areia, chegando a transbordar, acabando por não filtrar a areia. Outros dos problemas verificados foi a sua difícil lavagem, tornando-se uma tarefa mais complicada de realizar.

As ferramentas LEAN foram essenciais para o cumprimento dos objetivos deste trabalho, assim como para a determinação de oportunidades de melhoria. Com estas foi possível desenhar e aplicar o Layout certo, assim como definir metodologias de trabalho que melhor se aplicavam ao processo. Com estas reduziram-se em larga escala as deslocações do operador que se encontra na sala *Sableuse*, existe menos acumular de trabalho e as chapas estão sempre prontas quando necessárias, reduzindo o tempo Setup da máquina.

A aplicação do metodologia 5's foi a mais notada, sendo que existiu uma grande melhoria na disposição da sala, assim como na organização das chapas nas prateleiras, o fato destas se encontrarem identificadas com os números e uma fotografia ajuda na arrumação e reconhecimento destas. Desta forma, o trabalho está mais facilitado proporcionando poupança de tempo.

A otimização do equipamento *Sableuse* permitiu que este processo fosse de maior facilidade e controlo. A colocação do peneiro e da saca de nylon permitiu que a areia reutilizada durante o processo apresente um nível de contaminação inferior, a colocação do escorredor permitiu que as chapas não fossem colocadas na estufa com excesso de água, conduzindo a uma menor probabilidade de danificação das estufas, o aumento da mangueira de jato de água e areia permitiu que todos os operadores, independente da sua ergonomia pudessem trabalhar sem complicações, a colocação de novos fechos e a substituição da borracha do interior da máquina permitiu vedar com sucesso a máquina evitando que a água e areia saíssem pelas reentrâncias da porta e a substituição dos acrílicos onde se situam as luzes, permitiu ter mais luminosidade dentro da máquina.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Concluindo, todas as alterações feitas na máquina ajudaram bastante da utilização desta, assim como facilitam o processo. Contudo, verificou-se que a utilização do peneiro em produção não é viável, visto que devido à quantidade de chapas que são limpas, este peneiro não consegue escoar a grande quantidade de água que se vai acumulando, acabando por transbordar e deixar de ter o efeito pretendido.

Os métodos alternativos para o processo de limpeza existente na Essilor Portugal, focaram-se na utilização de papel no revestimento da máquina, visto este ser um processo de fácil aplicação e remoção, com custo suportáveis e por este já se encontrar nos consumíveis das empresa. De acordo com os testes desenvolvidos pode-se concluir que este não se apresenta um método viável, visto que aumenta o tempo de vácuo. Sendo que, este é o tempo necessário para que a máquina esteja em vácuo e proceda à evaporação dos materiais em questão, leva a que um processo de deposição demore mais tempo e consequentemente perca de capacidades da máquina. Contudo e apesar deste tempo ser superior, este tempo pode ser relacionado com o tempo que um operador demora a desmontar e a montar uma máquina antes e depois de cada limpeza, visto que esta proposta de método alternativo tem um tempo reduzido de colocação e remoção do papel.

Futuramente, será interessante continuar o acompanhamento do processo e de todas as metodologias envolventes para que sejam detetadas mais oportunidades de melhoria, assim como, a continuidade do estudo a processos alternativos aos existentes.

Outros processos que seriam interessante de estudar e desenvolver seria a aplicação de um spray que revestisse as chapas e de fácil remoção, tendo origem na ideia dos sprays hidrofóbicos. Assim como, um polímero que suporta-se a temperatura aplicada dentro da máquina e que se limpasse facilmente.

Capítulo 5 - Referências

1. **Portugal, Essilor.** *Guia trabalho temporário*. Portugal : s.n., 2013.
2. <http://www.centromarca.pt/noticias/noticia.aspx?id=453>. [Online] [Citação: 14 de Junho de 2015.]
3. **Internacional, Essilor.** *Ophtalmic Optics Files - Coating*. França : s.n., Abril 1997.
4. **Engineering, Global.** *Technical Training on Anti-Reflective Processes*. França : Version 2, 2009.
5. **Cruz, Nuno Miguel Pereira da.** *Implementação de Ferramentas Lean Manufacturing no Processo de Injecção de Plástico*. Universidade do Minho : s.n., Outubro 2013.
6. **Portugal, Essilor.** *Lean Coaching*. 2014.
7. **Lucas, Christiane.** Lean Services. *Comunidade Lean Thinking - Pós-Graduação Lean Management*. 14^a, Fevereiro/Março 2014.
8. **Bernardo, Adelino.** Lean Manufacturing - SMED. *Comunidade Lean Thinking - Pós-Graduação Lean Management*. 14^a, Janeiro 2014.
9. **Dias, Tiago Santos Costa.** Projeto de Aumento de Produtividade e Redução de Inventário. *Faculdade de Engenharia do Porto*. 2012.
10. **Bernardo, Adelino.** Lean Manufacturing - 5's. *Comunidade Lean Thinking - Pós-Graduação Lean Management*. 14^a, Dezembro 2013.

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

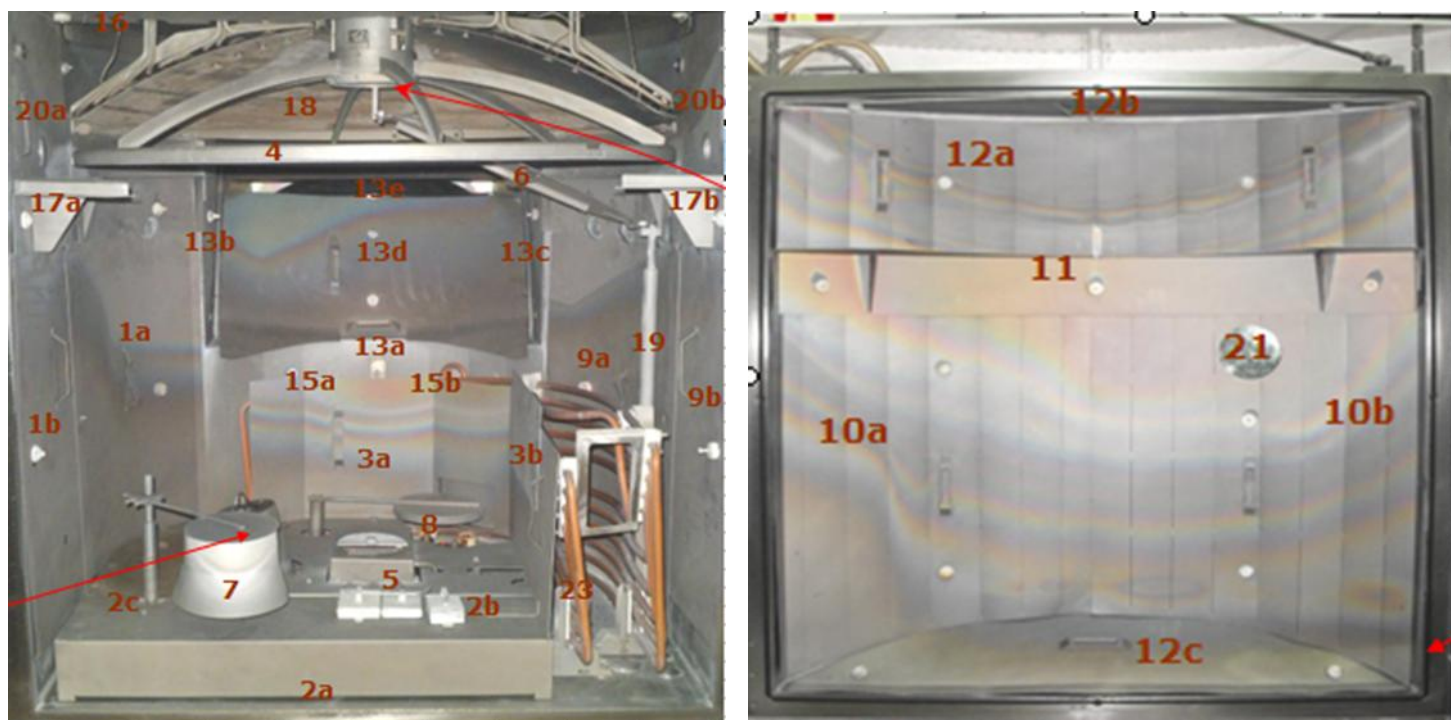
Capítulo 6 - Anexos

Tabela 6.1 - Plano de Limpeza das máquinas Satis

Ciclos	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130
Evaporações	26	52	78	104	130	156	182	208	234	260
Chapas/Limpezas	A	B *	C	D	E *	F	G *	H	I	J *
1a	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1b		x		x		x		x		x
2a	x				x				x	
2b	x				x				x	
2c	x				x				x	
3a	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3b	Chapa de apoio Meissner									Cada 12 evaporações
4	x		x		x		x		x	
5	Tampa do canhão de electrões									Cada 2 evaporações
6	Cache de Repartição									Cada 12 evaporações
7	Cache de protecção do canhão de iões IPC									Cada 2 evaporações
8	Cache de protecção									Cada 2 evaporações
9a	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9b		x		x		x		x		x
10a	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10b	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12a		x			x		x			x
12b		x			x		x			x
12c		x			x		x			x
13a		x		x		x		x		x
13b		x		x		x		x		x
13c		x		x		x		x		x
13d		x		x		x		x		x
13e		x		x		x		x		x
15a			x						x	
15b			x						x	
16					x					
17a	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
17b	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18					x					
19	x		x		x			x		x
20a	x					x				
20b	x					x				
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22a	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22b	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22c	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22d	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22e	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

* Degasage

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos



Cabeça do Xtal



Figura 6.1 - Imagens do interior da máquina Satis

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

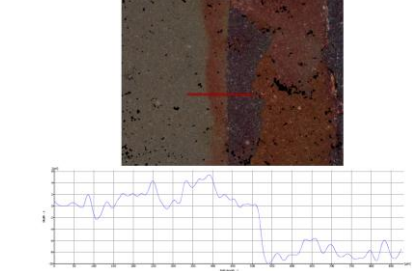
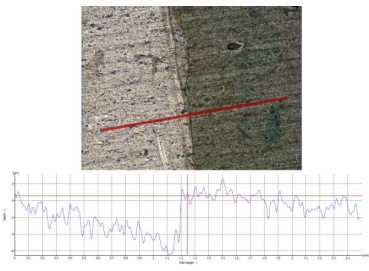
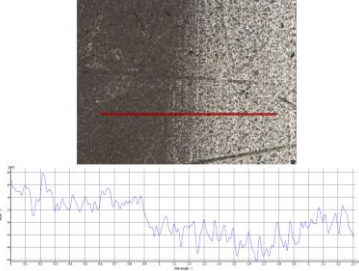
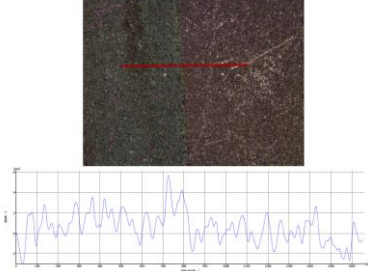
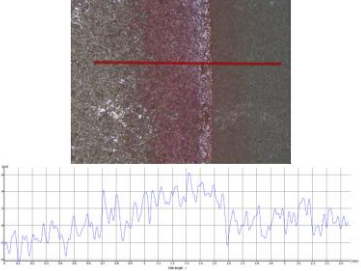
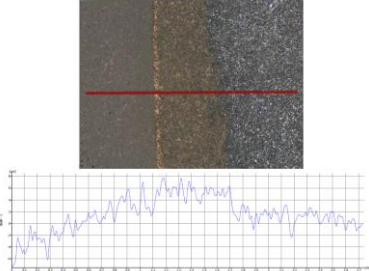
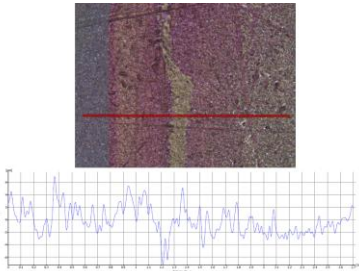
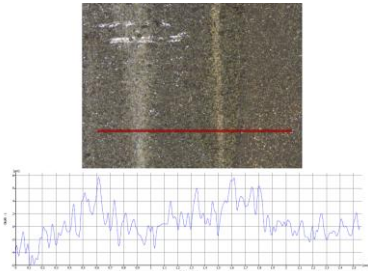
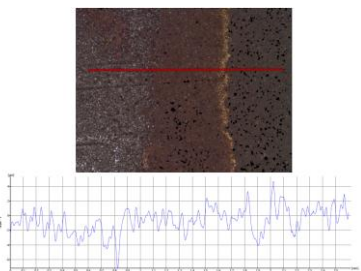
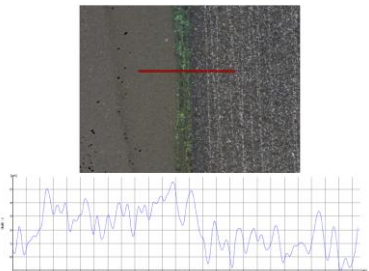
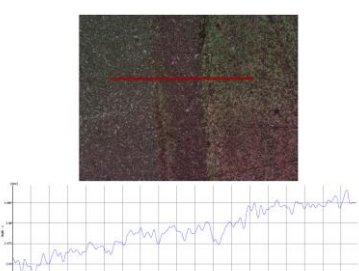
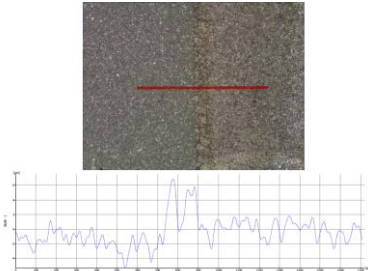
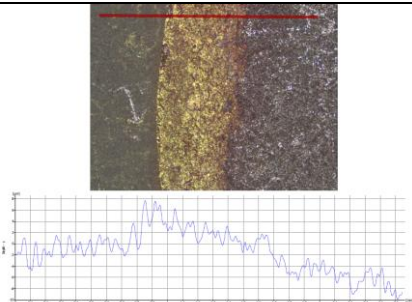
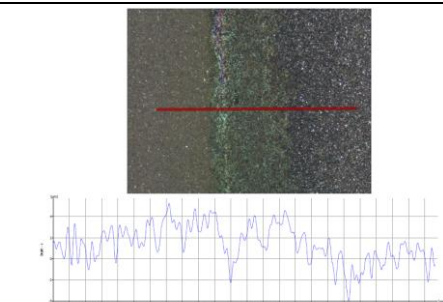
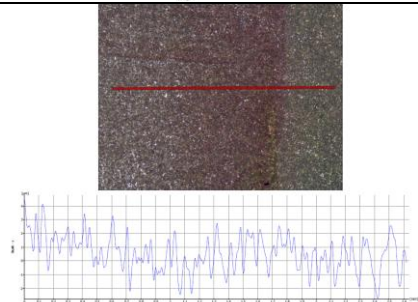
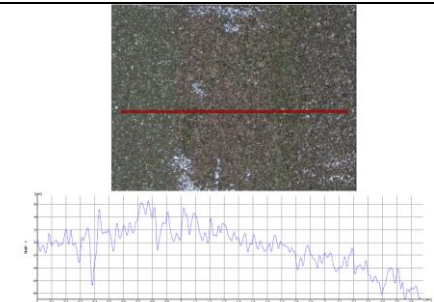
Limpeza	2 Evaporações		130 Evaporações	
	0,7 mm de espessura	1,5 mm de espessura	0,7 mm de espessura	1,5 mm de espessura
Sem Limpeza				
Areia Nova				
1ª Pasta				
2ª Pasta				

Figura 6.2 - Análise por microscópio de foco finito

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

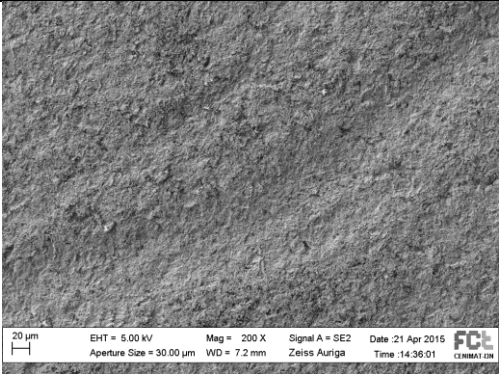
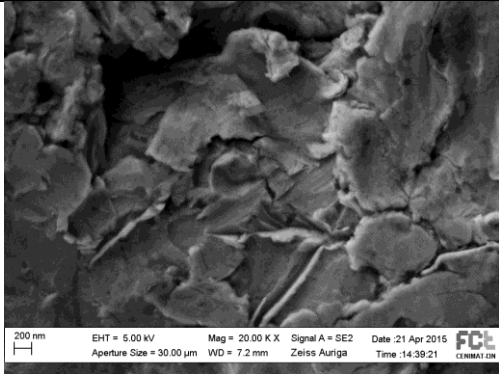

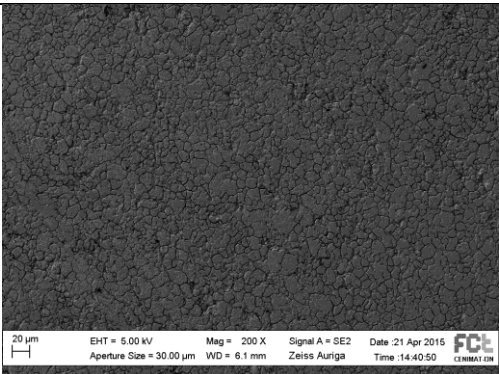
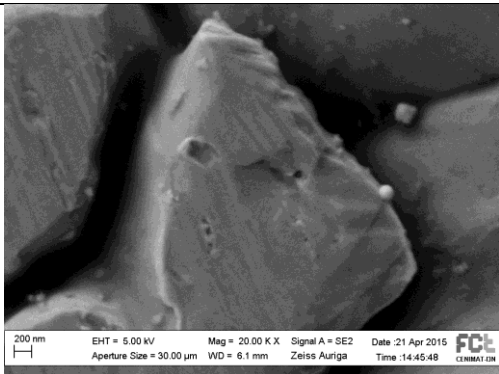
Espessura Chapas	SEM		Imagem Real
0,7 mm	 <p>200x</p>	 <p>20.000x</p>	
1,5 mm	 <p>200x</p>	 <p>20.000x</p>	

Figura 6.3 - Imagens SEM para chapas Virgens

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

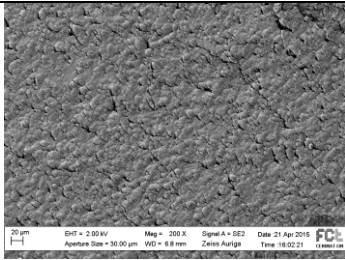
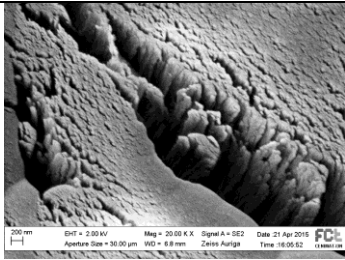

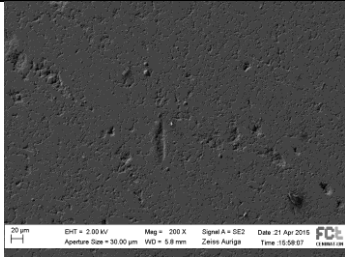
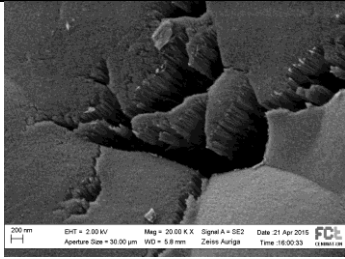
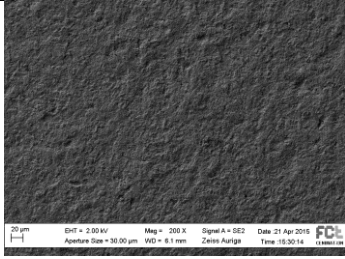
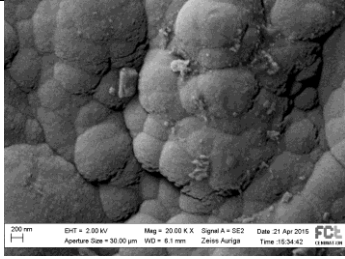
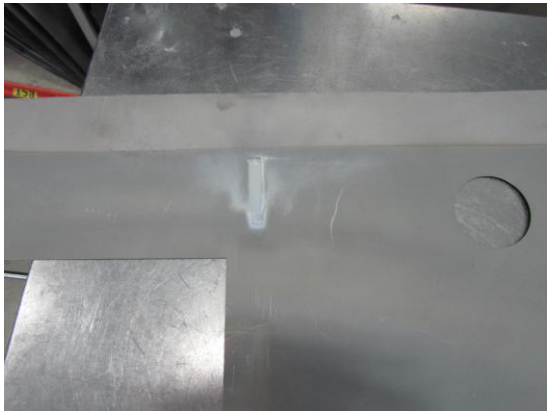
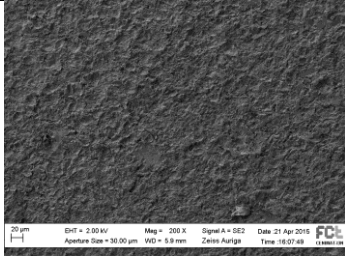
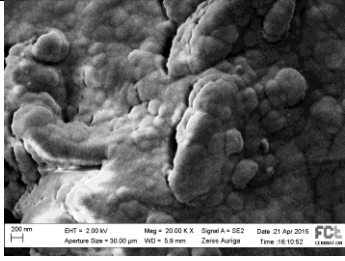
Evaporações	Espessura Chapas	SEM		Imagem Real
2	0,7 mm	 200x	 20.000x	
	1,5 mm	 200x	 20.000x	
130	0,7 mm	 200x	 20.000x	
	1,5 mm	 200x	 20.000x	

Figura 6.4 - Imagens SEM para chapas com deposição de óxidos metálicos

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

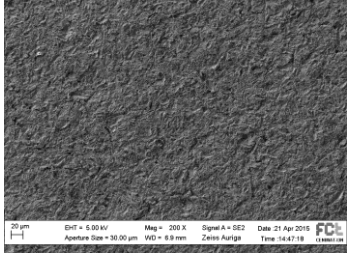
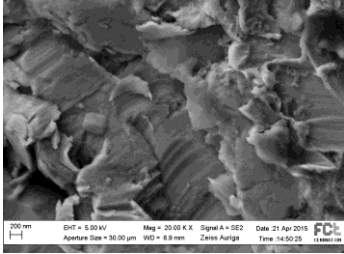
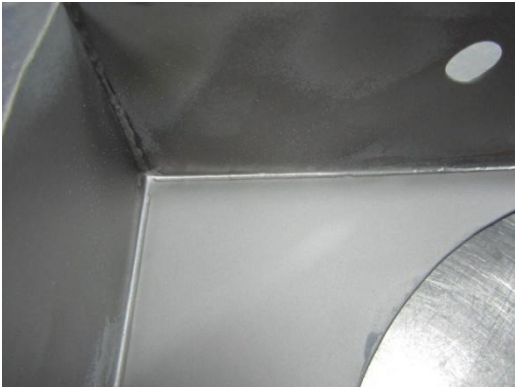
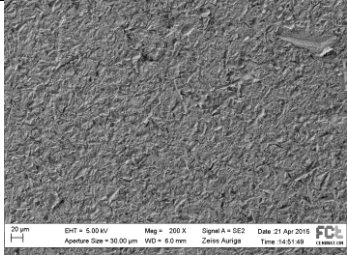
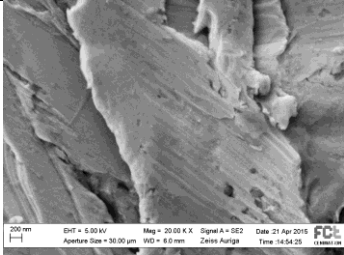
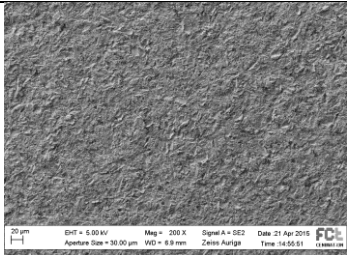
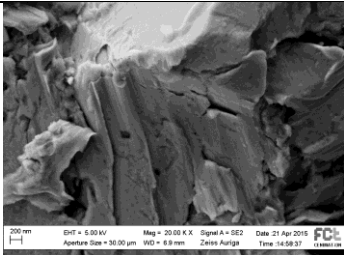

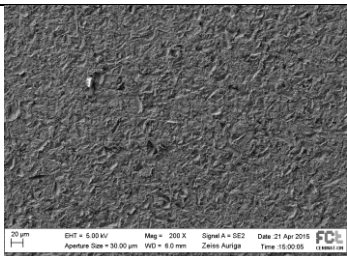
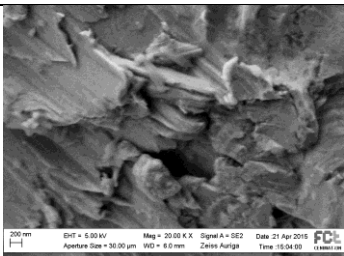
Evaporações	Espessura Chapas	SEM		Imagem Real
2	0,7 mm	 200x	 20.000x	
	1,5 mm	 200x	 20.000x	
130	0,7 mm	 200x	 20.000x	
	1,5 mm	 200x	 20.000x	

Figura 6.5 - Imagens SEM de chapas limpas com areia nova

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

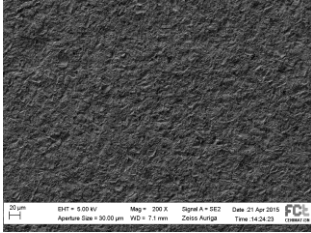
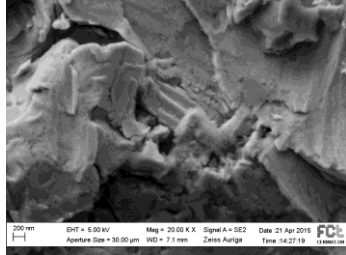
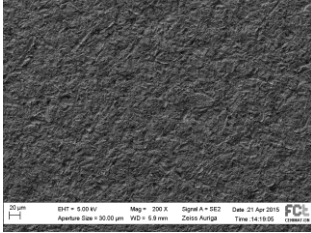
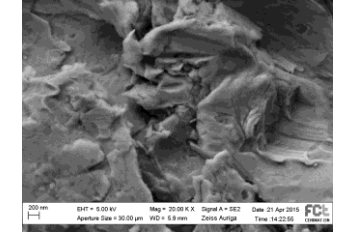
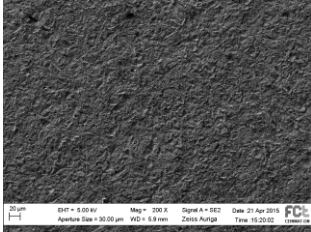

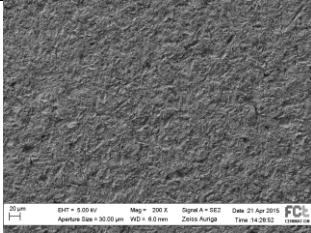
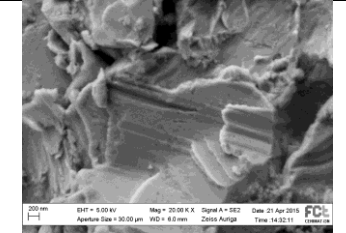
Evaporações	Espessura Chapas	SEM	
2	0,7 mm	 200x	 20.000x
	1,5 mm	 200x	 20.000x
130	0,7 mm	 200x	 20.000x
	1,5 mm	 200x	 20.000x

Figura 6.6 - Imagens SEM chapas limpas com areia reutilizada (24h de trabalho)

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

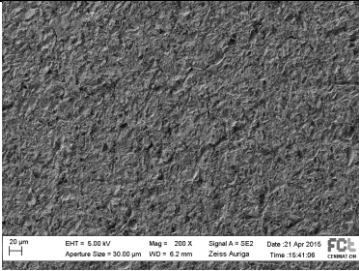
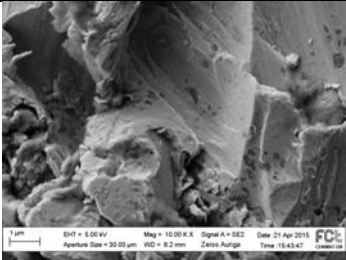
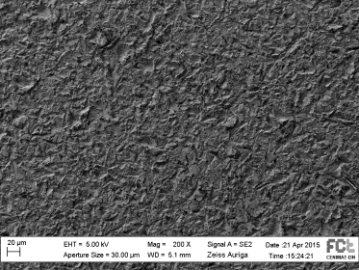
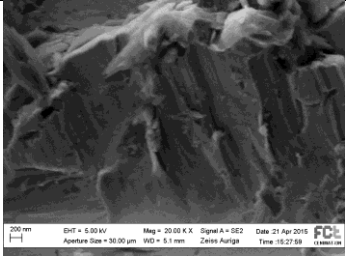
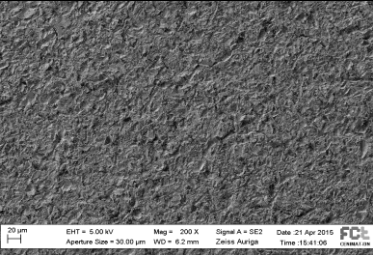
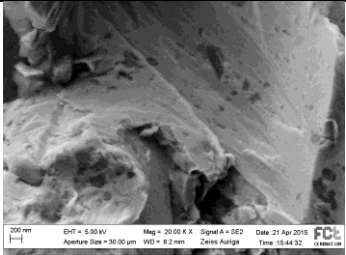
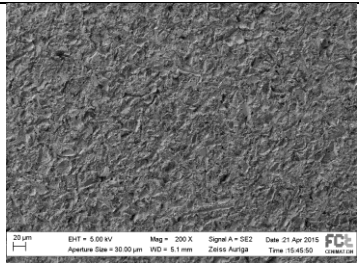
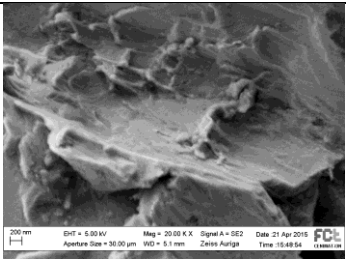
Evaporações	Espessura Chapas	SEM	
2	0,7 mm		
	1,5 mm		
130	0,7 mm		
	1,5 mm		

Figura 6.7 - Imagens SEM chapas limpas com areia reutilizada (48h de trabalho)

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

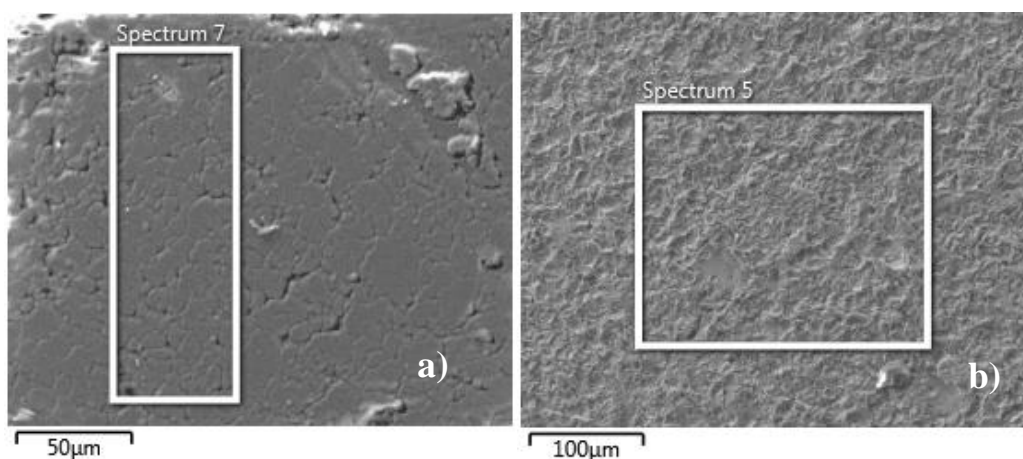


Figura 6.8 - Análise por EDS. a) chapa de 1,5 mm de espessura com 2 Evaporações; b) Chapa de 1,5 mm de espessura com 130 Evaporações

Tabela 6.2 - Análise EDS de chapas com 1,5 mm de espessura que sofrem 2 e 130 evaporações

Espessuras das chapas (mm)	Posição	Evaporação	Elementos	Porcentagem (%)
1,5	5	2	A	4,04
			G	27,14
			Q	26,40
			H	7,69
			B	11,69
			C	0,30
			E	0,88
			F	0,16
			I	15,35
			M	6,17
	20a/20b	130	N	0,17
			A	10,07
			G	18,56
			J	0,33
			H	1,19
			L	1,69
			B	8,54
			R	0,22
			O	0,13
			C	11,10
			D	0,86
			E	39,28
			F	4,21
			I	3,00
			M	0,55
			P	0,26

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Areia Nova

$m_{\text{inicial}} = 99,9995 \text{ g}$

Tabela 6.3 - Análise granulométrica da areia nova

Malha do peneiro (μm)	Dimensão de Retenção	Massa (g)	Percentagem Mássica (%)
355	>355	0	0
212	355>m>212	0,0015	0,001500008
180	212>m>180	0,1412	0,141200706
125	180>m>125	1,8077	1,807709039
75	125>m>75	64,463	64,46332232
45	75>m>45	31,536	31,53615768
Fundo	<45	1,647	1,647008235
		99,5964	99,59689798

Areia Reutilizada (24h trabalho) – 1ª Pasta

$m_{\text{inicial}} = 100,0173\text{g}$

Tabela 6.4 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 24h de trabalho

Malha do peneiro (μm)	Dimensão de Retenção	Massa (g)	Percentagem Mássica (%)
355	>355	0,0381	0,03809341
212	355>m>212	0,0614	0,06138938
180	212>m>180	0,0461	0,046092026
125	180>m>125	0,1127	0,112680506
75	125>m>75	31,1461	31,14071266
45	75>m>45	50,2162	50,2075141
Fundo	<45	17,4382	17,43518371
		99,0588	99,04166579

Areia Reutilizada (48h trabalho) – 2ª Pasta

$m_{\text{inicial}} = 100,0062 \text{ g}$

Tabela 6.5 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 48h de trabalho

Malha do peneiro (μm)	Dimensão de Retenção	Massa (g)	Percentagem Mássica (%)
355	>355	0,0313	0,03129806
212	355>m>212	0,2221	0,222086231
180	212>m>180	0,1375	0,137491476
125	180>m>125	0,5663	0,566264892
75	125>m>75	36,878	36,87571371
45	75>m>45	44,0371	44,03436987
Fundo	<45	17,1397	17,1386374
		99,012	99,00586164

Otimização do Processo de Limpeza dos Componentes que Constituem a Câmara de Vácuo de Revestimentos Óticos

Areia Reutilizada (72h trabalho)

$m_{\text{inicial}} = 100,012 \text{ g}$

Tabela 6.6 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 72h de trabalho

Malha do peneiro (μm)	Dimensão de Retenção	Massa (g)	Percentagem Mássica (%)
355	>355	0,2317	0,231672199
212	355>m>212	0,4528	0,452745671
180	212>m>180	0,3481	0,348058233
125	180>m>125	0,6691	0,669019718
75	125>m>75	20,7348	20,73231212
45	75>m>45	52,3123	52,30602328
Fundo	<45	23,9805	23,97762269
		98,7293	98,71745391

Areia Reutilizada (96h trabalho)

$m_{\text{inicial}} = 100,0075 \text{ g}$

Tabela 6.7 - Análise granulométrica da areia reutilizada depois de 96h de trabalho

Malha do peneiro (μm)	Dimensão de Retenção	Massa (g)	Percentagem Mássica (%)
355	>355	0,0253	0,025298103
212	355>m>212	0,02	0,0199985
180	212>m>180	0,0122	0,012199085
125	180>m>125	0,0803	0,080293978
75	125>m>75	36,0566	36,05389596
45	75>m>45	54,1051	54,10104242
Fundo	<45	9,0381	9,037422193
		99,3376	99,33015024